

Stratégie nationale des infrastructures de recherche

Édition 2021

Version mise à jour le 17.03.2022

Stratégie nationale des infrastructures de recherche

Édition 2021

Avant-propos



Frédérique VIDAL
Ministre
de l'Enseignement supérieur,
de la Recherche
et de l'Innovation

La pandémie de COVID-19 a démontré à quel point notre société dépend de la recherche et de l'innovation pour trouver des solutions à des problèmes de grande ampleur. Or, les ruptures scientifiques et technologiques ainsi que la réponse aux grands défis de notre temps nécessitent de plus en plus l'utilisation d'infrastructures de recherche au meilleur niveau. Dans des champs disciplinaires beaucoup plus nombreux que par le passé, les infrastructures sont devenues d'incroyables moteurs de savoirs et d'innovation, des attracteurs de talents, des catalyseurs d'interdisciplinarité, des porteurs d'image et de prestige scientifique. Au service de la communauté scientifique, elles sont un outil essentiel pour la compétitivité de la recherche et de l'innovation nationales. Par leur statut de promoteurs de nouvelles pratiques, elles constituent également un vecteur idéal pour le transfert de connaissances et de technologies vers le monde socio-économique.

Les infrastructures de recherche ne sont pas des outils de travail comme les autres. Elles représentent un actif précieux dans lequel la France investit pour construire son avenir dans le domaine de la recherche et de l'innovation et accompagner les grandes transitions dans lesquelles nous sommes engagés. La longévité des infrastructures, leurs ambitions, leurs coûts sont autant de particularités dont il est important d'apprécier régulièrement la valeur au terme de réflexions stratégiques comme celles qui ont conduit à la publication de la présente Feuille de route.

Le renouvellement de la stratégie nationale des infrastructures de recherche s'inscrit dans un mouvement beaucoup plus vaste visant à donner toute sa place à la recherche française dans le monde, en pleine cohérence avec la loi de programmation de la recherche pour les années 2021 à 2030. Les infrastructures sont appelées à repousser toujours plus loin les frontières de la connaissance, et à participer pleinement aux dynamiques de relance et de transition impulsées par le Plan France 2030 ainsi que par le PIA4.

Au niveau européen, la structuration du paysage des infrastructures se poursuit grâce à Horizon Europe et au Forum stratégique européen pour les infrastructures de recherche (ESFRI), permettant une approche résolument cohérente de l'élaboration des politiques relatives aux infrastructures paneuropéennes.

Notre pays ne peut que se féliciter d'accompagner depuis plus de vingt ans maintenant le développement d'infrastructures nationales et européennes qui ont transformé les pratiques des communautés scientifiques. Leur attractivité repose majoritairement sur l'excellence des personnels, chercheurs, ingénieurs, techniciens et administrateurs hautement qualifiés qui les opèrent. Je tiens à remercier particulièrement les équipes d'exploitation des 108 infrastructures de cette nouvelle édition de la Feuille de route nationale pour la qualité des actions et du soutien à la recherche qu'elles déploient au quotidien.

Les infrastructures de la Feuille de route nationale française doivent figurer sans complexe au premier rang des priorités européennes, fortes de la certitude que des équipements d'excellence soutiennent les projets ambitieux et innovants français et européens, au meilleur niveau scientifique international.

Sommaire

Introduction



Claire GIRY
Directrice générale de la Recherche et de l'Innovation
Ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation

Le rôle des infrastructures dans la recherche et l'innovation n'a cessé de croître au fil des années. On peut dire sans exagérer qu'elles constituent aujourd'hui la colonne vertébrale de la recherche pour un très grand nombre de disciplines.

Les infrastructures sont au service de la recherche d'excellence, dans des domaines aussi divers que la physique nucléaire et des hautes énergies, les sciences de la matière, l'astrophysique et l'astronomie, le calcul à haute performance, l'observation de l'environnement, la climatologie, la biologie, les sciences humaines et sociales. Elles présentent un caractère interdisciplinaire de plus en plus marqué, dont résulte une interdépendance croissante entre acteurs de la recherche aux niveaux national, européen et international. L'utilisation d'infrastructures de recherche est devenue, dans la plupart des disciplines, une condition impérative de compétitivité scientifique et de rayonnement international. Elles sont en outre souvent entourées d'enjeux économiques, industriels, voire de souveraineté technologique significatifs.

Les stratégies nationales et européenne dans le domaine des infrastructures de recherche se déclinent à travers des « Feuilles de route ». Cette nouvelle Feuille de route française est la cinquième édition depuis 2008. Elle se distingue des précédentes par la volonté d'afficher une analyse stratégique plus développée du paysage des infrastructures de recherche, ainsi que par une attention renforcée aux questions transversales de la science ouverte et des données, en conformité avec les engagements de la France en la matière. Elle témoigne de la volonté de l'État, par ses grands établissements de recherche et d'enseignement supérieur, de répondre aux exigences en perpétuelle évolution du savoir et de l'innovation. Elle vise aussi à maintenir une complémentarité essentielle avec la stratégie européenne dans le domaine des infrastructures de recherche, qui a récemment évolué à travers la mise à jour 2021 de l'ESFRI *roadmap*.

Cette nouvelle Feuille de route nationale a été élaborée en poursuivant un objectif principal : exprimer une vision claire des infrastructures essentielles pour la recherche et l'innovation françaises, positionnées dans une analyse stratégique du paysage des infrastructures de recherche.

Véritable innovation de cette nouvelle Feuille de route nationale, l'analyse stratégique du paysage des infrastructures vise à mettre en évidence :

— les grandes questions scientifiques et grands défis sociétaux qui nécessitent l'utilisation d'infrastructures ;
— le positionnement de chaque infrastructure de la Feuille de route par rapport aux évolutions de la recherche, aux besoins des communautés, aux installations concurrentes, ainsi que les éventuelles interfaces et complémentarités entre infrastructures ;
— les manques potentiels à combler, ainsi que les orientations pour les cinq prochaines années, en essayant de dégager des priorisations et des objectifs en termes d'impact, et en identifiant des nouvelles synergies à développer, en considérant également la soutenabilité budgétaire ;
— les pratiques des infrastructures en matière de science ouverte et de données.

Cette analyse, rédigée par la DGRI après concertation avec les alliances et organismes/établissements, sert désormais de référence pour expliciter la stratégie de l'État dans le domaine des infrastructures de recherche auprès des autres ministères, des parlementaires, de la Cour des comptes, des organismes de recherche, établissements et communautés de recherche, de nos partenaires étrangers et des institutions internationales (Commission européenne, OCDE, etc.). Elle pourra éclairer de futurs arbitrages en termes de politique de financement et la sélection de nouveaux projets, en veillant à leur pertinence par rapport à ce cadre stratégique d'ensemble.

Au-delà des services de la DGRI, le renouvellement de la Feuille de route nationale a mobilisé tout un ensemble d'acteurs importants, que je souhaite ici remercier pour leurs contributions essentielles :

- les alliances thématiques nationales de recherche, les organismes et les universités concernés par les infrastructures de recherche, qui ont été consultés au sein de groupes thématiques coordonnées par la DGRI ;
- les infrastructures appelées à candidater ;
- le Haut-Conseil des infrastructures de recherche, qui a été saisi pour éclairer les discussions stratégiques au sein du Comité directeur des infrastructures de recherche que j'ai le plaisir de présider.

Ainsi dotée d'une stratégie renouvelée en matière d'infrastructures de recherche, la France est prête à relever les défis de la recherche et de l'innovation des prochaines années.

Les différents types d'infrastructures de recherche

UN PAYSAGE RICHE ET VARIÉ

La présente Feuille de route nationale des infrastructures de recherche a retenu 108 objets dont les formes et les contenus sont extrêmement variés. Ces infrastructures ne se limitent pas aux seuls grands équipements implantés sur un seul site, mais peuvent également prendre des formes distribuées. Elles sont aussi, à des degrés divers, influencées par les nouvelles capacités issues des technologies de l'information et de la communication. Elles traduisent enfin des modes d'organisation fortement dépendants des communautés thématiques et des techniques qu'elles partagent.

QU'EST-CE QU'UNE INFRASTRUCTURE DE RECHERCHE ?

Une infrastructure de recherche se caractérise par des installations, ressources ou services essentiels, uniques et d'envergure nationale voire européenne ou internationale, dont l'objet est de conduire et soutenir une activité de recherche d'excellence. Elle comprend des équipements scientifiques, des ressources telles que des collections, archives et données scientifiques, des services et infrastructures numériques, et tout autre outil essentiel pour soutenir une recherche et des innovations au meilleur niveau.

Une infrastructure de la Feuille de route nationale…

- doit disposer d'une gouvernance identifiée, unifiée et effective, et d'instances de pilotage stratégique et scientifique ;
- doit être ouverte aux communautés de recherche souhaitant l'utiliser, accessible sur la base de projets évalués par des pairs ; elle doit donc disposer d'instances d'évaluation adéquates ;
- peut conduire une recherche propre, et/ou fournir des services à une (ou plusieurs) communauté(s) d'utilisateurs intégrant les acteurs du secteur économique. Ces communautés peuvent être présentes sur le site, venir ponctuellement y réaliser des travaux, ou interagir à distance ;
- doit disposer d'une programmation budgétaire pluriannuelle et soumettre aux instances pertinentes un budget formalisé ;
- doit s'inscrire dans une dynamique de science ouverte et de maîtrise du cycle de vie des données qu'elle produit et utilise.

QUATRE CATÉGORIES D'OBJETS

La présente Feuille de route nationale comprend quatre catégories d'objets définies selon les principes suivants :

- les organisations scientifiques internationales (OSI) sont fondées juridiquement sur une convention intergouvernementale, qui précise notamment les objectifs de l'organisation, les conditions d'adhésion, les organes de fonctionnement et les modalités de contribution des États membres ;
- les IR* (appelées TGIR – très grande infrastructures de recherche – dans les précédentes éditions de la Feuille de route nationale[1]) sont des infrastructures qui, bien qu'étant sous la responsabilité scientifique des opérateurs de recherche, relèvent d'une politique nationale et font l'objet d'un fléchage budgétaire du MESRI, pour des raisons financières et/ou de politique scientifique ministérielle ;

1 Le qualificatif « très grand » dans le label TGIR était mal approprié, certaines « petites » TGIR, en terme de taille, coexistant avec de très grandes IR.

- la catégorie IR rassemble les infrastructures dont la stratégie scientifique et le suivi budgétaire sont sous la responsabilité des opérateurs de recherche ;
- les projets, en cours de construction ou déjà productifs mais n'ayant pas encore une pleine maturité selon les critères rappelés plus haut et qui ont déjà une existence et une importance dans le paysage de la recherche française qui justifient l'inscription sur la Feuille de route. Ce statut a un caractère transitoire et fera l'objet d'une nouvelle analyse lors de la prochaine mise à jour de la Feuille de route.

Il est à noter que selon les critères présentés ci-dessus, les infrastructures d'essais et les démonstrateurs utilisés dans le cadre de grands programmes d'équipement (énergie, transports, bâtiment, agro-alimentaire, spatial, nucléaire, défense, etc.) qui peuvent mener des recherches mais sans ouverture extérieure, n'ont pas vocation à être intégrées à la présente Feuille de route.

Les infrastructures de recherche et la Feuille de route

L'INSCRIPTION SUR LA FEUILLE DE ROUTE

La Feuille de route nationale détermine les grands cadres de l'intervention publique dans le pilotage stratégique des infrastructures de recherche. Cet exercice, effectué d'une manière régulière par le ministère chargé de la Recherche, en concertation avec les alliances thématiques et les établissements, affirme la volonté de l'État de structurer le paysage des infrastructures d'envergure au minimum nationale. L'inscription d'une infrastructure de recherche sur la Feuille de route nationale représente un label de qualité et une reconnaissance de son importance stratégique pour la France. Il est nécessaire de soutenir les positions françaises au sein de grands projets de recherche européens ou internationaux, sans affaiblir pour autant le soutien aux installations nationales qui restent souvent le premier point d'accès de nos chercheurs. Cette ambition suppose une exigence forte dans la gouvernance des infrastructures de recherche, qui doit s'appliquer à tous les niveaux, à travers : un choix sélectif et hiérarchisé des projets à soutenir, une bonne évaluation des coûts de construction mais aussi la maîtrise des coûts d'exploitation, seule à même de garantir leur soutenabilité à long terme ainsi qu'une prise en compte nécessaire de leur impact économique, sociétal et culturel.

FEUILLES DE ROUTE NATIONALE ET EUROPÉENNE

Le travail de mise à jour de la Feuille de route nationale a été mené en étroite relation avec celui fait pour la révision de la Feuille de route du forum stratégique européen pour les infrastructures de recherche (ESFRI *roadmap*).

Concevoir et développer des infrastructures paneuropéennes et internationales implique une concertation au niveau européen, en particulier pour effectuer le choix des pays d'accueil. De fait, les infrastructures jouent un rôle moteur dans la construction de l'Espace européen de la recherche et font partie intégrante du pilier 1 « Excellence scientifique » du programme-cadre Horizon Europe. La définition claire de ses choix nationaux permet à notre pays de peser efficacement sur les orientations à l'échelle européenne et internationale. Les nombreuses participations françaises aux infrastructures européennes sont mentionnées dans le présent document.

LE PROCESSUS DE MISE À JOUR DE LA FEUILLE DE ROUTE NATIONALE DES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE

Les précédentes éditions de la stratégie nationale des infrastructures de recherche ont été publiées en 2008, 2012, 2016 et 2018. L'édition 2021 est le fruit d'un processus collectif, dont les alliances thématiques et les établissements de recherche ont été des acteurs importants, sous pilotage de la DGRI.

Un webinaire national de lancement réunissant plus de 300 participants (représentants d'infrastructures, d'institutions et des communautés de recherche, etc.) a eu lieu le 4 novembre 2020 pour expliciter les enjeux, les objectifs, le processus et le calendrier du renouvellement de la Feuille de route nationale.

Une première vague de consultation des organismes et alliances de recherche a eu lieu de novembre 2020 à janvier 2021, au sein de groupes de travail thématiques correspondant à chacun des grands domaines scientifiques utilisant des infrastructures. Ces groupes de travail, animés par des experts scientifiques de la DGRI, ont permis d'élaborer une version préliminaire de l'analyse stratégique du paysage des infrastructures et de dresser la liste des infrastructures invitées à présenter leur candidature à la nouvelle Feuille de route.

Ces infrastructures présélectionnées ont alors renseigné un questionnaire en ligne en février 2021, via une plateforme développée par le service statistique ministériel de l'enseignement et de la recherche (SIES). Le questionnaire visait à expliciter tous les points d'analyse importants, tels que la nature de l'infrastructure, sa conception scientifique et technologique, sa gouvernance, son éventuelle dimension européenne/internationale, sa gestion des données, ses pratiques en matière de science ouverte, ses indicateurs en termes d'ouverture et d'utilisation, de production scientifique, de formation, d'innovation et d'impact socioéconomique. En mars 2021, et sur la base des données collectées, une seconde vague de réunion des groupes de travail a permis d'apprécier l'évolution des infrastructures figurant sur les précédentes éditions de la Feuille de route, d'étudier les caractéristiques des nouveaux projets et d'affiner l'analyse stratégique du paysage global. Deux groupes de travail transversaux, consacrés aux pratiques des infrastructures en matière de science ouverte et de données, ont également œuvré pour enrichir l'analyse stratégique d'ensemble.

Le Haut Conseil des infrastructures de recherche (HC-IR), instance consultative réunissant 15 personnalités scientifiques de haut niveau expérimentées dans le domaine des grands équipements et représentatives des différents secteurs de la recherche, a été saisi en avril 2021 pour analyser les candidatures. Le HC-IR a auditionné les coordinateurs et animateurs des groupes de travail au mois de mai 2021, et rendu un rapport donnant des avis circonstanciés sur les candidatures et le panorama des infrastructures au mois de juin 2021.

Le Comité directeur des infrastructures de recherche (CD-IR), présidé par la Directrice générale de la Recherche et de l'Innovation et réunissant le Président-directeur général du CNRS, l'Administrateur général du CEA, les présidents des cinq alliances thématiques nationales de recherche, un représentant du ministère chargé des Affaires étrangères ainsi que de celui chargé du Budget, s'est réuni les 13 juillet et 1er octobre 2021 pour, à la lumière des avis du HC-IR et de l'analyse stratégique du paysage des infrastructures, examiner la liste des infrastructures considérées pour cette nouvelle Feuille de route. Au terme de ces discussions, la Directrice générale a arrêté la liste des infrastructures retenues sur la nouvelle Feuille de route nationale.

L'analyse stratégique du paysage des infrastructures a été finalisée et les fiches présentant chaque infrastructure ont été réalisées durant l'automne-hiver 2021. La publication de la nouvelle Feuille de route nationale a donné lieu à l'organisation d'un webinaire réunissant infrastructures et représentants des institutions et communautés de recherche le 8 mars 2022.

Tableau des infrastructures

DOMAINE SCIENTIFIQUE PRINCIPAL	DOMAINE(S) SCIENTIFIQUE(S) SECONDAIRE(S)	ACRONYME	TITRE COMPLET DE L'INFRASTRUCTURE	TYPE	STATUT ESFRI
Astronomie et astrophysique		ESO	European Southern Observatory	OSI	ELT : ESFRI landmark
		ESO/ALMA	Atacama Large Millimeter/Submillimiter Array		
		SKAO	SKA Observatory	OSI	SKAO : ESFRI landmark
		CFHT	Canada-France-Hawaii Telescope	IR*	
	Physique nucléaire et des hautes énergies	CTA	Cherenkov Telescope Array	IR*	CTA : ESFRI landmark
		IRAM	Institut de RadioAstronomie Millimétrique	IR*	
		CDS	Centre de Données astronomiques de Strasbourg	IR	
	Physique nucléaire et des hautes énergies	HESS	High Energy Stereoscopic System	IR	
		Instrum-ESO	Instrumentation pour les grands télescopes de l'ESO	IR	
		LOFAR/NenuFar	International Low Frequency Radio Array Telescope – LOFAR FR	IR	
		PARADISE	Plateforme pour les Activités de Recherche Appliquée et de Développement en Instrumentation au Sol et Embarquée	IR	
Biologie et santé		EMBL	Laboratoire Européen de Biologie Moléculaire/ European Molecular Biology Laboratory	OSI	
		CALIS	Infrastructure Nationale de Recherche Consommateur-ALIment-Santé	IR	
		Celphedia	Infrastructure Nationale pour la création, l'élevage, le phénotypage, la distribution et l'archivage d'organismes modèles	IR	INFRAFRONTIER : ESFRI landmark
		ChemBioFrance	Plateforme de découverte de molécules bioactives pour comprendre et soigner le vivant	IR	
		CONSTANCES	Cohorte des consultants des Centres d'examens de santé	IR	
		ECELLFrance	Plateforme nationale pour la médecine régénératrice basée sur les cellules souches mesenchymateuses adultes	IR	
	Système Terre et Environnement	EMBRC France	Centre National de Ressources Biologiques Marines	IR	EMBRC : ESFRI landmark
		EMERG'IN	Infrastructure Nationale de Recherche pour la lutte contre les maladies infectieuses animales émergentes ou zoonotiques par l'exploration *in vivo*	IR	
		FBI	France-BioImaging	IR	Euro Bioimaging : ESFRI landmark
		F-CRIN	Plateforme Nationale d'Infrastructures de recherche Clinique	IR	ECRIN : ESFRI landmark
		FLI	France Life Imaging	IR	EIRENE : ESFRI project

DOMAINE SCIENTIFIQUE PRINCIPAL	DOMAINE(S) SCIENTIFIQUE(S) SECONDAIRE(S)	ACRONYME	TITRE COMPLET DE L'INFRASTRUCTURE	TYPE	STATUT ESFRI
Biologie et santé		France Cohortes	France Cohortes	IR	
		France Génomique	Infrastructure nationale de génomique et bioinformatique associée	IR	
		FRISBI	Infrastructure Française pour la Biologie Structurale Intégrée	IR	INSTRUCT : ESFRI landmark
	Système Terre et Environnement Énergie	IBISBA France	Industrial Biotechnology Innovation and Synthetic Biology Acceleration	IR	IBISBA : ESFRI project
		IDMIT	Infrastructure nationale pour la modélisation des maladies infectieuses humaines et les thérapies innovantes	IR	
		IFB	Institut Français de Bioinformatique	IR	ELIXIR : ESFRI landmark
		Ingestem	Infrastructure nationale des cellules souches pluripotentes et ingénierie tissulaire	IR	
		Laboratoire P4 Jean Mérieux	Infrastructure de recherche dédiée aux maladies hautement infectieuses – Laboratoire P4 Jean Mérieux Inserm	IR	ERINHA : ESFRI landmark
		LiPh@SAS	Livestock Phenotyping for Sustainable Agricultural Systems	IR	
		MetaboHUB	Infrastructure française distribuée pour la métabolomique et la fluxomique dédiée à l'innovation, à la formation et au transfert de technologie	IR	
		NeurATRIS	Infrastructure de Recherche Translationnelle pour les Biothérapies en Neurosciences	IR	EATRIS : ESFRI landmark
		NEUROSPIN	Infrastructure de recherche sur le cerveau exploitant des grands instruments d'imagerie	IR	
	Système Terre et Environnement	Phenome-Emphasis France	Infrastructure Francaise de Phenomique Végétale	IR	EMPHASIS : ESFRI project
		ProFI	Infrastructure Française de Protéomique	IR	
		CAD	Collecteur Analyseur de Données	Projet	
		EBRAINS-FR	European Brain ReseArch INfrastructureS-France	Projet	EBRAINS : ESFRI project
		FR Exposome	FRANCE EXPOSOME	Projet	EIRENE : ESFRI project
Énergie		ECCSEL-FR	Infrastructure de Recherche sur le Captage, Stockage et Valorisation du CO_2 (CSCV) et le Stockage Souterrain d'Énergie	IR	ECCSEL : ESFRI landmark
		FR Solaris	Infrastructure de Recherche française sur le solaire thermique concentré	IR	EU Solaris : ESFRI landmark
		THEOREM	Réseau de Moyens d'Essais en Hydrodynamique pour les Énergies Marines Renouvelables	IR	MARINERG-i : ESFRI project
		WEST	W(Tungsten) Environment for Steady-state Tokamaks	IR	

DOMAINE SCIENTIFIQUE PRINCIPAL	DOMAINE(S) SCIENTIFIQUE(S) SECONDAIRE(S)	ACRONYME	TITRE COMPLET DE L'INFRASTRUCTURE	TYPE	STATUT ESFRI
Physique nucléaire et des hautes énergies		CERN	Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire	OSI	
		CERN LHC	Large Hadron Collider	IR*	HL-LHC : ESFRI landmark
		DUNE / PIP-II	Deep Underground Neutrino Experiment / Proton Improvement Plan II	IR*	
	Astronomie et astrophysique	EGO-Virgo	European Gravitational Observatory - Virgo	IR*	
		FAIR	Facility for Antiproton and Ion Research	IR*	FAIR : ESFRI landmark
		GANIL-SPIRAL2	Grand Accélérateur National d'Ions Lourds – Système de Production d'Ions Radioactifs en Ligne de 2e génération	IR*	SPIRAL2 : ESFRI landmark
		AGATA	Advanced GAmma Tracking Array	IR	
		JUNO	Jiangmen Underground Neutrino Observatory	IR	
	Astronomie et astrophysique	KM3NeT	Kilometre Cube Neutrino Telescope	IR	KM3NeT : ESFRI project
		LSM	Laboratoire Souterrain de Modane	IR	
	Astronomie et astrophysique	LSST	Legacy Survey of Space and Time	IR	
	Astronomie et astrophysique	PAO	Pierre Auger Observatory	IR	
SHS	Information Scientifique	HUMA NUM	La Très Grande Infrastructure de Recherche des Humanités Numériques	IR*	DARIAH : ESFRI landmark
		PROGEDO	PROduction et GEstion de DOnnées	IR*	ESS : ESFRI landmark CESSDA : ESFRI landmark SHARE : ESFRI landmark GGP : ESFRI project
		RnMSH	Réseau national des Maisons des Sciences de l'Homme	IR	
	Sciences de la matière et ingénierie	E-RIHS FR	European Research Infrastructure for Heritage Science – France	Projet	E-RIHS : ESFRI Project
Sciences de la matière et ingénierie		Apollon	Laser Apollon	IR*	
		ESRF	European Synchrotron Radiation Facility	IR*	ESRF-EBS : ESFRI landmark
		ESS	European Spallation Source	IR*	ESS : ESFRI landmark
		European XFEL	European X-ray Free Electron Laser	IR*	European XFEL : ESFRI landmark
		ILL	Institut Max von Laue – Paul Langevin	IR*	ILL : ESFRI landmark
		SOLEIL	Synchrotron SOLEIL	IR*	

DOMAINE SCIENTIFIQUE PRINCIPAL	DOMAINE(S) SCIENTIFIQUE(S) SECONDAIRE(S)	ACRONYME	TITRE COMPLET DE L'INFRASTRUCTURE	TYPE	STATUT ESFRI
Sciences de la matière et ingénierie	Physique nucléaire et des hautes énergies	EMIR&A	Fédération des accélérateurs pour l'IRradiation et l'Analyse des molécules et Matériaux	IR	
		Infranalytics	Fédération nationale des équipements analytiques à très haut champ magnétique	IR	
		LMJ-PETAL	Laser Mégajoule – PETawatt Aquitaine Laser	IR	
		LNCMI	Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses	IR	EMFL : ESFRI landmark
		METSA	Microscopie Électronique en Transmission et Sonde Atomique	IR	
	Astronomie et Astrophysique	REFIMEVE	REseau FIbré Métrologique à Vocation Européenne	IR	
		RENATECH+	Réseau national des centrales de technologies de nanofabrication	IR	
Sciences du numérique et mathématiques		CONTINUUM	Continuité Collaborative du Numérique vers l'Humain	IR	
		ROBOTEX 2.0	L'infrastructure coordonnée des plateformes de Robotique en France	IR	
		SILECS	Infrastructure for Large-Scale Experimental Computer Science	IR	SLICES : ESFRI project
Sciences du système Terre et de l'environnement		CEPMMT	Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme	OSI	
		CONCORDIA	CONCORDIA – station de recherche antarctique franco-italienne	IR*	
		ECORD/IODP	Programme international de forage profond en mer/European Consortium for Ocean Drilling Research/International Ocean Discovery Program	IR*	
		EURO-ARGO-France	Réseau in-situ global d'observation des océans/ European contribution to Argo program	IR*	EURO-ARGO : ESFRI landmark
		FOF	Flotte Océanographique Française	IR*	
		ICOS-France	Système Intégré d'Observation du Carbone/ Integrated Carbon Observation System	IR*	ICOS : ESFRI landmark
		ACTRIS-France	Aerosol, Cloud and Trace Gases Research Infrastructure – France	IR	ACTRIS : ESFRI landmark
		AnaEE-France	Analyse et Expérimentation sur les Écosystèmes – France	IR	ANAEE : ESFRI landmark
		CLIMERI-France	Infrastructure de recherche nationale de modélisation du système climatique de la Terre	IR	
		DATA TERRA	Pôles de données et services pour le système Terre	IR	
		eLTER-France OZCAR	Observatoires de la Zone Critique, Applications et Recherche	IR	eLTER : ESFRI project
		eLTER-France RZA	Réseau des Zones Ateliers – Infrastructure des Socio-écosystèmes	IR	eLTER : ESFRI project

DOMAINE SCIENTIFIQUE PRINCIPAL	DOMAINE(S) SCIENTIFIQUE(S) SECONDAIRE(S)	ACRONYME	TITRE COMPLET DE L'INFRASTRUCTURE	TYPE	STATUT ESFRI
Sciences du système Terre et de l'environnement		EMSO-France	European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory – France	IR	EMSO : ESFRI landmark
		IAGOS-France	Instruments de mesure embarqués sur avions pour l'observation globale/ In-service Aircraft for Global Observing System	IR	IAGOS : ESFRI landmark
		ILICO	Infrastructure de Recherche LIttorale et COtière	IR	
		IN AIR	Infrastructure Nationale des Aéronefs Instrumentés pour la Recherche	IR	
		In-Sylva-France	In-Sylva France Infrastructure Nationale de recherche pour la gestion adaptative des forêts	IR	
		PNDB	Pôle National de Données de Biodiversité	IR	
		RARe	Ressources Agronomiques pour la Recherche	IR	MIRRI : ESFRI landmark
		RECOLNAT	Réseau national des collections naturalistes	IR	DiSSCo : ESFRI project
		RESIF/EPOS	Réseau sismologique et géodésique français/ European Plate Observing System	IR	EPOS : ESFRI landmark
		RéGEF	Réseau Géochimique et Expérimental Français	Projet	
Services numériques (calcul et réseau)		GENCI	Grand Équipement National de Calcul Intensif	IR*	PRACE : ESFRI landmark
		RENATER	Groupement d'intérêt public pour le réseau national de communications électroniques pourla technologie, l'enseignement et la recherche	IR*	
	Physique Nucléaire et des Hautes Énergies	CC-IN2P3	Centre de Calcul de l'IN2P3	IR	
		CINES	Centre informatique national de l'enseignement supérieur	IR	
		France Grilles		IR	
Information scientifique		CollEx-Persée	Collections d'excellence pour la Recherche – Persée	IR	
		HAL+	Archive ouverte de prochaine génération	IR	
		Métopes	Méthodes et outils pour l'édition structurée	IR	
	Sciences Humaines et Sociales	OpenEdition	Communication scientifique ouverte en sciences humaines et sociales	IR	OPERAS : ESFRI project
		ISTEX	Information scientifique et technique d'excellence	Projet	
		Software Heritage		Projet	

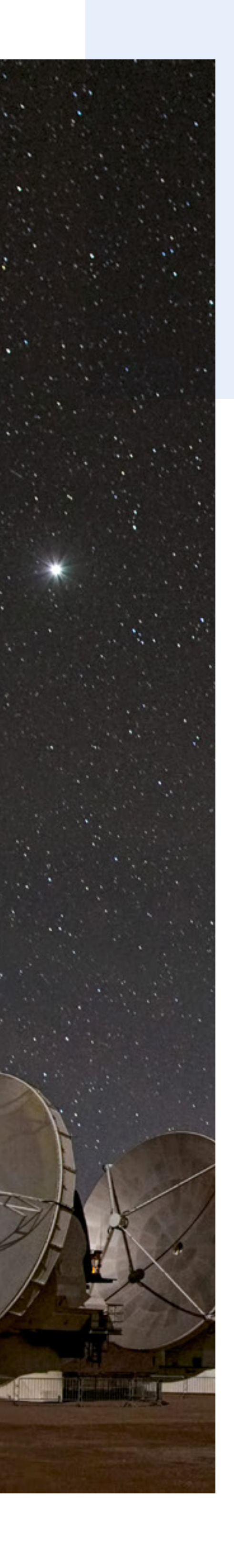


1.

Astronomie et **astrophysique**



Astronomie et astrophysique



Depuis la plus haute antiquité les astronomes étudient le ciel. L'astrophysique a pour but l'étude et la compréhension de l'univers et de ses constituants. L'astronomie repose sur trois piliers fondamentaux : l'observation/détection, la théorie/modélisation, les simulations. Les progrès de l'observation astrophysique sont dépendants des grandes infrastructures de recherche que sont les observatoires au sol ou dans l'espace. L'augmentation de la taille des télescopes au sol, l'ouverture à tout le domaine des ondes électromagnétiques permis par les télescopes spatiaux, et plus récemment les possibilités de détection des particules cosmiques et des ondes gravitationnelles ont ouvert de nouvelles fenêtres sur l'univers, qui posent des interrogations inédites à notre compréhension du cosmos.

LES GRANDES QUESTIONS SCIENTIFIQUES ACTUELLES ET LEURS LIENS AVEC LES INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE

Structuration de l'Univers

L'hypothèse selon laquelle l'univers est passé dans une phase très chaude et dense, pour ensuite s'étendre et se refroidir a été formulée il y a presque 100 ans. Ce modèle, connu sous le nom de Big Bang, explique l'expansion de l'univers observée par la vitesse d'éloignement des galaxies ; il explique l'apparition des particules élémentaires et la nucléosynthèse des noyaux légers. Il explique le rayonnement de type corps noir qui nous parvient depuis l'époque où l'univers est devenu transparent par la recombinaison des nucléons et des électrons pour donner des atomes. Ce que l'on appelle rayonnement diffus cosmologique (Cosmic Microwave Background, CMB, en anglais). Aucun autre modèle n'est capable d'expliquer l'ensemble de ces observations. Néanmoins, il faut y inclure trois hypothèses supplémentaires. Pour reproduire la quasi-homogénéité de l'univers, il faut faire l'hypothèse d'une phase d'expansion exponentielle très rapide, appelée inflation, qui se serait produite très tôt. Plusieurs modèles d'inflation ont été proposés, mais leur fondement physique reste incertain. Ensuite, la composition de l'univers prédit par le modèle du Big Bang possède deux composantes principales qui posent question : l'énergie sombre, responsable de l'accélération actuelle de l'expansion de l'univers et une matière noire qui régit l'évolution dynamique et la structuration de l'univers. L'énergie sombre représente environ 68 % de l'énergie de l'univers, la matière noire 27 %. Leur nature reste inconnue, malgré de nombreuses recherches tant par des observations astronomiques que par des expériences de physique de détection directe. Dans cet univers, la matière dont nous sommes formés, celle qu'on appelle la matière baryonique, ne représente que 5 % du contenu de l'univers.

L'observation du CMB permet de connaître l'état de l'univers à l'époque de la recombinaison. Les observations conduites par les satellites WMAP (NASA, 2001) et Planck (ESA, 2009) ont permis de déterminer de manière précise la température du corps noir cosmologique, ainsi que l'échelle des fluctuations de densité, qui ont donné naissance aux grandes structures de l'univers. La polarisation

de ces fluctuations de rayonnement pourra nous renseigner sur les processus qui se sont produit à l'époque de l'inflation. La mesure de cette polarisation est le but de projets futurs encore lointains comme le satellite Litebird japonais, ou le projet CMB-S4 américain au sol. L'observation des supernovas de type Ia dans les galaxies lointaines a permis en 1996 de déterminer la seconde accélération de la vitesse d'expansion de l'univers due à l'énergie sombre (prix Nobel de physique 2011), démarrée il y a 5 milliards d'années. Ce résultat a été depuis confirmé par d'autres moyens indépendants : les observations du CMB et les observations de la distribution à grande échelle de la matière noire en observant les déformations des images des galaxies lointaines par effet de lentille gravitationnelle, ce qu'on appelle le cisaillement gravitationnel. Ces dernières ont été conduites du sol avec des télescopes à grand champ, comme le **CFHT**, et bientôt avec le **LSST**, et le seront avec une précision encore meilleure par le satellite européen EUCLID qui sera lancé en 2023. Dans les quelques années à venir, le cisaillement gravitationnel pour cartographier la matière noire à grande échelle avec le **LSST** et EUCLID sera l'axe principal d'étude en cosmologie observationnelle.

L'avenir des recherches cosmologiques sera de trouver des traceurs directs de phénomènes qui se sont produits avant la recombinaison. Deux candidats existent. Les neutrinos se découplent avant les photons, et pourraient donner un fond diffus de neutrinos cosmologiques que l'on pourrait détecter en étudiant le rayonnement cosmique d'ultra haute énergie avec des observatoires du type de **l'Observatoire Pierre Auger (PAO)**. Des ondes gravitationnelles de basse fréquence pourraient être générées lors de l'inflation. Elles sont difficiles à observer du sol, mais elles seront un des buts du projet LISA de l'Agence Spatiale Européenne (2030+). Une autre approche serait de comprendre mieux la formation des grandes structures, juste après la recombinaison, avant même que les étoiles et les galaxies ne se forment et illuminent l'univers. La matière se trouve alors sous la forme de nuages d'hydrogène atomique, que l'on peut observer en radio. C'est un des buts principaux de l'observatoire radio-astronomique **SKA**, auquel la France vient de décider de participer et qui sera opérationnel vers 2030.

Formation et évolution des galaxies

À partir des fluctuations primordiales de densité, la matière dans l'Univers se structure sous forme de filaments de matière noire grâce à la gravité et à l'expansion. À l'intersection de ces filaments se forment des halos de matière noire dans lequel le gaz baryonique se trouve piégé. Il se refroidit par rayonnement, permettant la formation des premières étoiles et des galaxies. L'évolution des propriétés de ces galaxies au cours des temps cosmiques, a été étudiée en détail sur la base de nombreuses observations effectuées du sol (**CFHT, VLT, ALMA**, DESI) et de l'espace (XMM-Newton, Herschel). Elle soulève de nombreuses questions théoriques sur les processus qui la gouvernent et requièrent de nouveaux diagnostics observationnels, qui seront accessibles avec la prochaine génération d'observatoires au sol, comme l'**ELT** et prochainement dans l'espace avec EUCLID et le JWST.

Un aspect essentiel de la compréhension de la diversité des propriétés des galaxies est lié à la capacité des processus de rétroaction à réguler le gaz au sein des structures. Les supernovae, et les trous noirs supermassifs au centre des galaxies, sont à l'origine de la propulsion de vents galactiques et de la modulation de l'accrétion de matière gazeuse dans les galaxies. Des observatoires comme **ALMA** nous offrent une meilleure compréhension de l'origine de ces vents en caractérisant le gaz froid des galaxies et sa cinématique. Les chocs engendrés par les supernovæ



et les jets relativistes issus des noyaux actifs de galaxies sont le site d'accélération de particules, les rayons cosmiques (**CTA, KM3NeT, PAO**) qui peuvent servir à déduire certaines propriétés de la formation de ces vents. Une meilleure connaissance de la coévolution des trous noirs supermassifs (ATHENA, LISA) avec leur galaxie permettra aussi de mieux caractériser leur activité.

La connaissance des propriétés du gaz intergalactique est d'un intérêt majeur et va franchir un cran avec la nouvelle génération des observatoires. Que ce soit dans les filaments cosmiques par le biais de leur émission Lyman-alpha (**VLT, ELT**) et de leurs propriétés en absorption du rayonnement émis par les galaxies les plus lointaines (**VLT, ELT**), ou que ce soit celui du gaz chaud émetteur X dans les amas de galaxies, sondés en rayons X avec le satellite XMM-Newton (ATHENA en 2030+), et en radio avec **LOFAR** (**SKA** en 2030+), ces études permettent de poser des contraintes indirectes sur les modèles cosmologiques. Enfin l'étude du contenu de notre Voie Lactée et de son environnement satellitaire par le satellite GAIA est à même de nous renseigner sur la façon dont notre galaxie s'est assemblée dans le temps.

Étant donné que la formation des galaxies est un phénomène fondamentalement multi-échelle et multi-physique, les approches théoriques purement analytiques sont inefficaces. La modélisation numérique adossée à des modèles physiques robustes, offre une approche théorique unique que les calculateurs massivement parallèles ont rendue possible. Les simulations astrophysiques comptent parmi les grandes retombées de **GENCI** et **PRACE**.

Formation des étoiles et des planètes

Au sein des galaxies le milieu interstellaire, de ses phases les plus diluées aux phases denses, est le réservoir de matière pour la formation de nouvelles étoiles et de leurs systèmes planétaires. Les grandes lignes de la formation des étoiles par effondrement gravitationnel ont été tracées il y a plusieurs décennies, mais la compréhension quantitative des processus de formation reste encore une question ouverte.
Ce processus fait intervenir la physique complexe de la matière et notamment sa dynamique turbulente, ses interactions avec le rayonnement, le champ magnétique et les particules énergétiques qui composent les rayons cosmiques. Ces différents mécanismes opèrent simultanément et aucun ne peut être négligé. Par ailleurs les étoiles nouvellement formées et notamment les étoiles massives ont un effet notable sur leur environnement et contribuent ainsi par cette rétroaction (feedback) à la régulation de la formation des étoiles à grande échelle, mais le feedback joue aussi un rôle critique dans la formation des systèmes planétaires. Les études sur la formation stellaire et le milieu interstellaire bénéficient de l'avancée des simulations numériques basées sur une modélisation multi-échelle des phénomènes physiques et chimiques s'appuyant sur de nombreux travaux interdisciplinaires avec physiciens et chimistes. Les missions spatiales dans les domaines de l'infrarouge et du submillimétrique telles que Planck et Herschel et les observatoires millimétriques au sol, **IRAM, ALMA**, ont permis une caractérisation fine des structures et confirmé le rôle critique du champ magnétique. L'enjeu est maintenant la caractérisation de la turbulence et du champ magnétique depuis les plus grandes échelles des galaxies jusqu'à celles des systèmes planétaires. La France est bien positionnée grâce à sa participation à l'**ESO**, aux radiotélescopes **IRAM** et **ALMA**. Les relevés stellaires de Gaia apportent une information essentielle pour obtenir une vision statistique des phénomènes. L'accès aux radiotélescopes de basses fréquences tels que **LOFAR/NenuFAR** puis **SKA** offrira un moyen unique de caractérisation 3D du champ magnétique. L'accès à la haute

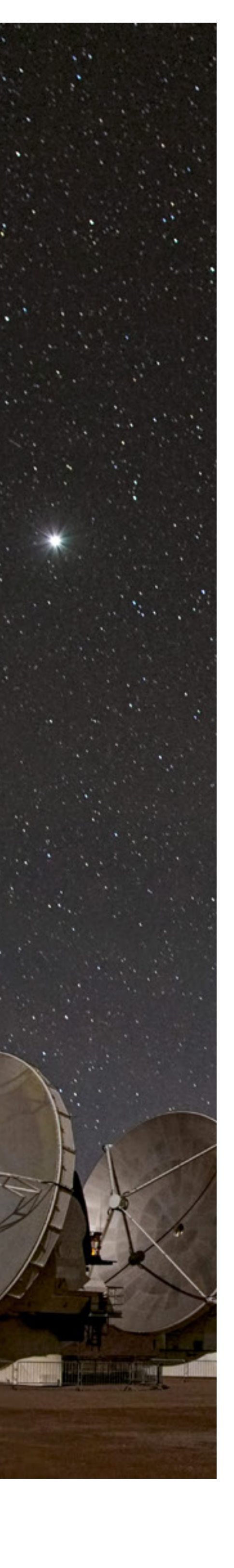
résolution angulaire est absolument nécessaire pour visualiser la structure, la composition et la dynamique des disques circumstellaires et comprendre comment émerge la diversité des systèmes planétaires, et comment la matière interstellaire sous forme de gaz ou de poussières est incorporée dans les embryons de planètes.

Des étoiles aux objets compacts

Selon leur masse, les étoiles vont évoluer très différemment, isolées ou en système binaires, et sur des échelles de temps de quelques millions d'années à plusieurs milliards d'années. Les étoiles massives influent fortement sur leur environnement, en ionisant et enrichissant chimiquement le milieu interstellaire par leur vent. Ce sont les phases ultimes des étoiles qui produisent les éléments les plus lourds du silicium au fer, et au-delà, lors de la nucléosynthèse explosive de la supernova et qui éjectent ce matériel enrichi dans le milieu interstellaire. La structure de chocs générée (reste de supernova) chauffe à des dizaines de millions de degrés le milieu interstellaire, accélère des particules et génère de la turbulence. L'énergie dégagée est considérable, de quelques 10^{50} à 10^{53} ergs pour les hypernovae, et est à l'origine de phénomènes de rétroaction sur la formation des étoiles et l'évolution des galaxies. Différents types d'explosion se produisent, mais on peut distinguer deux catégories principales : les explosions thermonucléaires (SN Ia), et l'effondrement gravitationnel du cœur de fer d'une étoile massive avec la formation d'un objet compact (étoile à neutron/pulsar ou trou noir). Les sursauts gamma longs seraient issus de ces progéniteurs massifs, alors que les sursauts gamma courts proviendraient de la fusion d'étoiles à neutrons (kilonovae) en système binaire. Les enjeux sont de comprendre la physique de l'explosion, la nature des progéniteurs, la formation de l'objet compact, des jets et du reste de supernova, et leur impact sur l'écosystème des galaxies. Quel rôle critique jouent les neutrinos et les instabilités dans le déclenchement de l'explosion, sur les propriétés de l'objet compact et de leur rémanent ? Comment les particules sont accélérées dans les chocs, comment la turbulence est générée et le champ magnétique amplifié ? Pour progresser, cela requiert des simulations numériques poussées et des observations sur un large spectre multi-longueur d'onde du domaine radio avec **LOFAR** et **SKA**, à l'optique-proche IR avec l'**ESO**, aux rayons X dans le domaine spatial, gamma avec **HESS** et **CTA** mais également multi-messager (neutrino, rayons cosmiques et ondes gravitationnelles). Ces systèmes jouent un rôle clé dans notre compréhension de la formation des étoiles et système planétaires, dans l'évolution des galaxies et l'enrichissement chimique du gaz intergalactique.

Planètes et exobiologie

Les questions de l'existence de la vie dans l'Univers, de son émergence et des conditions nécessaires à son maintien sont des axes importants de recherche depuis la détection de la première planète extrasolaire autour d'une étoile proche (Prix Nobel de physique 2019). Ces questions fondamentales sont regroupées sous la thématique de l'exobiologie et se recoupent avec celles de planétologie et des relations Soleil-Terre. Ces recherches mobilisent des efforts très importants dans le monde. Elles s'intéressent à la fois aux objets du système solaire comme Mars, qui a peut-être abrité la vie dans le passé, ou des lunes de Jupiter et Saturne comme Europe et Encelade abritant des océans d'eau liquide sous une couche de glace, mais aussi des planètes analogues à la Terre situées dans la zone dite habitable autour d'autres étoiles. Des progrès considérables ont été faits depuis 25 ans. Plus de quatre mille planètes ont été détectées montrant ainsi la banalité des systèmes planétaires et ouvrant la voie à l'étude de leur formation et de leur évolution



et, offrent des perspectives nouvelles sur les conditions d'apparition de la Vie. Les grands progrès des moyens d'observation au sol et dans l'espace ont conduit à la détection d'un nombre croissant d'exoplanètes telluriques dans la zone habitable de leur étoile et la mesure de leur composition atmosphérique va devenir possible avec l'ELT ou le JWST. Revenant dans le système solaire, notre connaissance de la Terre primitive a beaucoup évolué et il est possible que la vie y soit apparue très rapidement voici plus de 4 milliards d'années. De la matière organique a été détectée sur la comète Churyumov-Gerasimenko 67P par la sonde Rosetta et sur Mars par Curiosity ainsi que des traces d'eau et de méthane. Les retours d'échantillons futurs ou en cours depuis Mars ou des astéroïdes Ryugu et Bennu permettront des analyses plus poussées pour comprendre l'apport de matière organique sur Terre et l'existence potentielle de vie ailleurs dans le système solaire. L'étude des relations Soleil-Terre mais aussi des collisions potentielles avec des petits corps permet d'apporter un éclairage sur l'évolution des conditions propices à la vie dans le seul cas aujourd'hui connu où elle a pu éclore. En appui à ces observations, d'importantes activités théoriques et de laboratoire ont pour objectif d'étudier les mécanismes chimiques et biochimiques à l'œuvre dans la transition de l'inerte au vivant et l'identification des biosignatures.

Les nouvelles astronomies

Des ondes radio aux rayons X et gammas d'ultra-haute énergie, l'astronomie multi-longueur d'onde s'est développée, en partie grâce aux progrès du spatial, tout au long de la deuxième moitié du xxe siècle, dévoilant des objets très énergétiques, mais aussi des composantes très froides, inobservables par les moyens traditionnels de l'astronomie. La France est un acteur majeur de ce développement, aussi bien dans l'astrophysique des hautes énergies avec ses implications dans les satellites X et Gamma (SIGMA, XMM-Newton, INTEGRAL) et les observatoires Tcherenkov au sol, **HESS** et bientôt **CTA**, que dans le domaine de l'univers froid, avec l'**IRAM** et **ALMA**, mais aussi dans le spatial avec des implications majeures dans les satellites ISO, Planck et Herschel.

Depuis le début du xxie siècle on assiste à l'ouverture de nouvelles fenêtres sur l'univers grâce aux particules cosmiques et aux ondes gravitationnelles. Plus d'un siècle après leur découverte, l'origine et la composition du rayonnement cosmique corpusculaire d'ultra-haute énergie reste un mystère. **L'observatoire international Pierre Auger**, situé en Argentine, et auquel la France participe, est en cours d'amélioration et devrait atteindre un niveau de performance supérieur en 2021. Les très grands détecteurs de neutrinos astrophysiques ont connu une avancée significative en 2017 avec la très probable détection d'une galaxie active par l'observatoire IceCube, dans l'Antarctique, et donc le début d'une astronomie neutrino. La nouvelle génération de projets neutrino permettra de détecter les supernovæ à effondrement gravitationnel à des distances bien au-delà du Grand Nuage de Magellan. La France est engagée dans le projet **KM3NeT**, en cours de construction dans les abysses de la mer Méditerranée, et contribue au Global Neutrino Network.

La première détection directe par LIGO du passage d'une onde gravitationnelle en 2015 issue d'une fusion de deux trous noirs (prix Nobel de physique 2017), a marqué la naissance de l'astronomie des ondes gravitationnelles. Elle a été suivie en 2017 par l'observation par LIGO et **EGO/Virgo** du signal d'une fusion de deux étoiles à neutrons, qui a marqué la naissance de l'astronomie multi-messagers puisqu'une composante électromagnétique a pu être associée à cet évènement ce qui a eu des implications considérables à la fois en astrophysique, en cosmologie et en

physique fondamentale. Des améliorations importantes devraient amener ces deux détecteurs à la limite de leur capacité d'ici 2024, et des études sont en cours pour déterminer la nouvelle génération de détecteurs d'ondes gravitationnelles, comme le projet Einstein Telescope en Europe.

L'univers est un laboratoire qui permet d'appliquer et de tester des théories de physique et de chimie dans des situations impossibles à obtenir sur Terre. Certaines théories, comme la relativité générale, ne peuvent être testées qu'en utilisant des méthodes astrophysiques, par exemple en étudiant l'entourage des trous noirs. Les premières phases de l'univers ou l'observation des particules à ultra haute énergie permettent des études inédites sur la physique des particules. Et la chimie interstellaire offre un laboratoire privilégié pour étudier les réactions chimiques et la formation des agrégats dans des milieux très dilués. C'est une des raisons de l'intérêt que manifestent de nombreux physiciens théoriciens et des physiciens des hautes énergies pour des travaux en collaboration avec les astrophysiciens. Ces collaborations sont anciennes, mais ne cessent de prendre de plus en plus d'ampleur. Trouver les moyens de les rendre encore plus efficaces est une des clés pour faire des découvertes révolutionnaires comme une nouvelle théorie de la gravitation ou des théories au-delà du modèle standard de la physique des particules.

POSITIONNEMENT ET IMPORTANCE DES INFRASTRUCTURES DU PAYSAGE ACTUEL PAR RAPPORT AUX ÉVOLUTIONS DE LA RECHERCHE

Les avancées en astrophysique ont toujours coïncidé avec l'amélioration de l'instrumentation et l'introduction de nouveaux domaines d'observation. Par exemple, dans le domaine optique, le gain en capacité collectrice, depuis les quelques centimètres de diamètre de la lunette de Galilée aux 10 m des télescopes actuels et bientôt 39 m de l'**ELT**, a permis de passer de l'observation des planètes du système solaire à la détection des premières galaxies formées après le Big Bang. L'astronomie est maintenant multi-longueurs d'onde, et devient multi-messager. Cette évolution n'a pu se produire que par la mise en service de nouvelles infrastructures dédiées à un type d'observations spécifiques. Ce qui pourrait apparaitre comme une multiplication des moyens, est une nécessité scientifique. Chacun de ces messagers signe des processus physiques différents dont la compréhension est nécessaire pour appréhender la globalité des systèmes observés. Il ne faut pas limiter les nouvelles infrastructures, synonymes de progrès potentiels, mais les concevoir, dès le début au bon niveau européen ou mondial pour éviter les duplications et maîtriser les dépenses.

Le XXe siècle a aussi vu naître la révolution informatique qui a décuplé les capacités d'observation, de traitement des données et de simulations numériques. D'une astronomie bien souvent limitée à quelques objets, on est passé à une astronomie statistique indispensable pour traiter certains sujets comme l'analyse du secteur sombre de l'Univers, ou l'évolution des galaxies. Les données se sont par conséquent complexifiées et sont devenues de plus en plus massives nécessitant des approches nouvelles et engendrant des interdépendances avec la science des données. Utilisateurs de grandes infrastructures observationnelles, les astronomes sont également devenus utilisateurs des grandes infrastructures pour les calculs et les données. Sans oublier qu'ils sont également utilisateurs des infrastructures de la physique pour les études en laboratoire, et pour l'analyse des matériaux extraterrestres.



DIMENSIONS NATIONALES, EUROPÉENNES ET INTERNATIONALES DES INFRASTRUCTURES

La coopération européenne pour le développement des observatoires est née en 1962 avec la création par 5 pays, dont la France, d'une organisation intergouvernementale, l'European Southern Observatory, **ESO**. À ce jour l'**ESO** comprend 16 états membres européens et a un partenariat stratégique avec l'Australie. Grâce à l'**ESO**, les astronomes européens ont pu développer un programme cohérent, avec des télescopes de plus en plus novateurs et performants, qui les placent maintenant devant l'astronomie américaine. L'attribution du prix Nobel de Physique en 2019 aux Suisses Michel Mayor et Didier Queloz pour leurs découvertes sur les exoplanètes, et en 2020 à l'astrophysicien allemand Reinhard Genzel pour ses travaux sur le trou noir au centre de la Voie Lactée, reposent en très grande partie sur les travaux qu'ils ont effectués en utilisant les télescopes de l'**ESO**.
La contribution des astronomes français aux programmes de l'**ESO** a été décisive dans de nombreux domaines, surtout pour le développement des systèmes d'optique adaptative et d'interférométrie. Sur le VLT, le spectrographe multi-objet MUSE, la caméra à très haute résolution spatiale SPHERE, ou l'instrument interférométrique GRAVITY, qui ont des PI ou des Co-PI français, n'ont pas d'équivalents au monde. L'élan donné par l'**ESO** a aussi facilité le développement d'autres projets, le **CFHT** avec le Canada et l'**IRAM** avec l'Allemagne et l'Espagne

Le coût des infrastructures de recherche en astrophysique atteint maintenant les limites de ce que l'on peut espérer d'un programme purement européen. Plusieurs projets actuels se sont constitués à une échelle mondiale. Le premier fut le réseau de radioastronomie millimétrique **ALMA** installé au Chili en 2011, résultant d'une collaboration entre l'Europe (**ESO**), les USA, le Canada, le Japon, Taiwan et la Corée du Sud. Le **Cherenkov Telescope Array, CTA**, en cours de développement regroupe des équipes scientifiques de 31 pays. Le Projet de radioastronomie basse fréquence **SKA** est conçu dès le départ dans une perspective de projet mondial et une nouvelle organisation intergouvernementale, **SKAO**, a été créée en 2020. La France a engagé en 2021 le processus d'adhésion à **SKAO**.

Pour piloter de tels projets, l'astronomie s'est très rapidement dotée des outils nécessaires pour mener à bien des analyses stratégiques et définir des priorités. Depuis les années 1970, l'INSU du CNRS conduit tous les 5 ans un exercice de prospective impliquant tous les acteurs français. Au niveau européen, l'ERANET ASTRONET regroupant les principaux organismes européens de recherche en astrophysique a été créé en 2005. Il pilote un exercice de définition d'une feuille de route des IR en astrophysique tant au sol que dans l'espace. La première a été publiée en 2008, et réactualisée en 2014 et 2022. Un processus similaire existe aussi en Europe pour la physique des astroparticules. Les priorités scientifiques présentée dans ce document s'inscrivent dans ce contexte plus général.

TAILLE DES COMMUNAUTÉS SCIENTIFIQUES CONCERNÉES; INTERCONNEXION ÉVENTUELLE AVEC D'AUTRES DOMAINES DISCIPLINAIRES

Les communautés scientifiques concernées sont principalement regroupées, dans les universités, au CNRS, dans les observatoires de Paris et de Nice et au CEA/IRFU. Elles travaillent au sein d'UMR, elles-mêmes souvent incluses dans des Observatoires des Sciences de l'Univers (OSU). La communauté astroparticule comprend outre une partie du personnel travaillant dans les laboratoires étiquetés astronomie-astrophysique et rattachés à l'INSU, du personnel travaillant dans

des laboratoires d'autres instituts du CNRS, l'IN2P3 surtout, mais aussi INP et en nombre plus faible au CEA. Les effectifs du CNRS/INSU/AA comprennent 805 chercheurs et enseignants-chercheurs, 411 ITA CNRS et 245 dépendant d'autres organismes, ainsi que 166 CDD. Environ 150 étudiants commencent une thèse chaque année et il y a quelques 250 chercheurs post-doctoraux. Ceci représente environ 2 500 personnes. La répartition homme-femme est de 23 % chez les chercheurs permanents et de 30 % chez les doctorants. Les effectifs du CNRS/IN2P3 dans le domaine des astroparticules et la cosmologie comprennent 246 chercheurs et enseignants-chercheurs, environ 60 chercheurs post-doctoraux et une centaine de doctorants. On peut noter qu'avec 6 % des membres, la France est le deuxième pays derrière les États-Unis en nombre d'astronomes membres de l'Union Astronomique Internationale.

L'astrophysique est interdisciplinaire par nature. Depuis une vingtaine d'années, la collaboration la plus importante a lieu avec les physiciens théoriciens et les physiciens de hautes énergies. Plusieurs infrastructures sont portées par les trois communautés, telles que **l'Observatoire Pierre Auger, CTA** ou **l'observatoire Vera Rubin (LSST)**. Mais même des observatoires purement astronomiques comme **SKA** ou l'**ELT** auront des retombées en physique fondamentale. Plus récemment, une collaboration active avec des chimistes s'est développée pour l'étude du milieu interstellaire. Et il faut noter aussi l'émergence d'un nouveau domaine, l'exobiologie, impliquant, outre les astrophysiciens, des géologues, des chimistes et des biologistes.

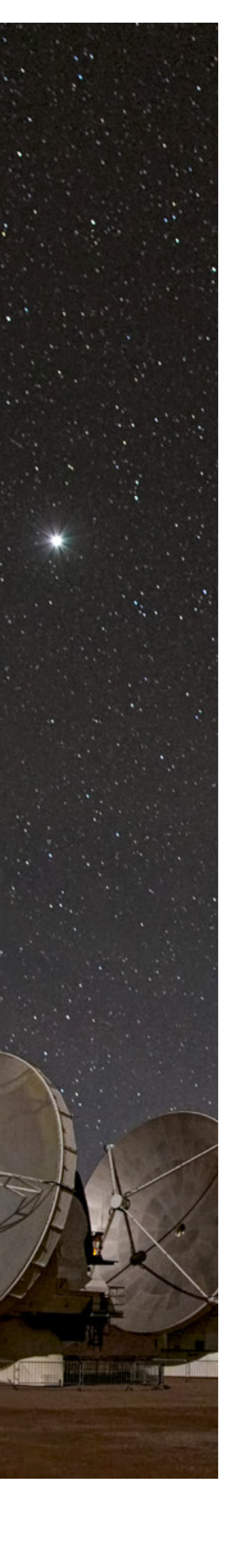
Les IR en astrophysique sont à la pointe de la technologie dans de nombreux domaines, optique, mécanique, détecteurs, informatique. La communauté française est particulièrement active dans le développement et l'exploitation d'instruments focaux novateurs, pour le sol et l'espace. L'infrastructure **Instrum-ESO** est spécifiquement dédiée à l'implication des équipes française dans les instruments pour l'**ESO**. Elle est fondamentale pour la contribution française aux instruments du VLT et encore plus pour ceux de l'**ELT**. Une mise en réseau des plateformes d'intégration et de test de ces instruments, éléments indispensables au dispositif de développement des instruments, est proposée comme une nouvelle infrastructure, appelée **PARADISE**.

IMPACTS : SCIENTIFIQUE, SOCIOÉCONOMIQUE, SUR L'ÉDUCATION ET LA FORMATION, SUR L'INNOVATION

L'astronomie et toutes ses composantes sont considérées à juste titre comme des sciences pures ; c'est-à-dire que leur but est d'accroître notre connaissance de notre univers. En tentant de répondre à des questions fondamentales, l'astronomie a un rôle sociétal majeur dans le progrès de nos connaissances.

L'astronomie est aussi une science utile. La définition et la mesure du temps légal sont issues des laboratoires d'astronomie. Les systèmes de localisation de références reposent sur des mesures de positions de certains astres. La recherche d'astéroïdes géocroiseurs qui pourraient heurter la Terre et la surveillance de la météo de l'espace pour garantir la qualité des télécommunications radio reposent sur le travail des astronomes.

L'observation en astronomie est dépendante des progrès de la technologie. En retour, les techniques développées en astronomie ont des retombées dans d'autres domaines, en particulier en médecine. Tous les systèmes d'imagerie médicale par scan ou tomographie utilisent des dérivées de la synthèse d'ouverture développées par les radioastronomes dans les années 60. Plus récemment, les techniques



d'optiques adaptatives mises en œuvre sur les télescopes ont été utilisées avec succès en ophtalmologie pour la chirurgie de la rétine. La valorisation des développements en instrumentation astronomique a toujours été prise en compte par les astronomes. La réalisation des infrastructures de recherche en astronomie se fait avec un retour industriel très important. Le projet de l'**ELT** coûte 1,3 milliard d'euros à l'**ESO**. 90% de ce budget correspond à des contrats industriels. Mais, au-delà du retour financier, ces réalisations de très haute technologie poussent les industriels à se surpasser. Ils acquièrent ainsi de nouveaux savoir-faire qu'ils peuvent ensuite valoriser dans d'autres réalisations. La société REOSC, maintenant Safran-REOSC, créée par des opticiens de l'Institut d'optique et de l'Observatoire de Paris en 1937, est devenue un leader mondial en optique en partie grâce aux travaux que cette société a effectués pour tous les télescopes de l'**ESO**.

L'astronomie est une discipline qui permet d'attirer de nombreux étudiants, non seulement ceux qui veulent faire des recherches en astronomie, mais aussi des ingénieurs en optique, en détection, en mécanique ou en développement logiciel, qui sont attirés par les challenges techniques liés aux instruments focaux et aux télescopes. L'astronomie est aussi un outil privilégié pour diffuser la culture scientifique et technique dans les écoles, collèges et lycées. Des opérations phares, comme « La main à la pâte » sont issues des efforts concertés d'astrophysiciens et de physiciens. Enfin, l'astronomie intéresse énormément le grand public. On a estimé qu'en 2018 l'opération « La Nuit des Étoiles » a touché 3,5 millions de personnes. Les astronomes amateurs constituent une communauté très active. On recense plus de 300 clubs d'astronomie amateurs et 26 observatoires amateurs permanents, équipés pour recevoir le public. Plusieurs programmes de sciences participatives pour la recherche d'événements transitoires, comme des météores avec le réseau FRIPON, ou des explosions de supernovas ont été initiés. Les astronomes consacrent une part non négligeable de leur temps à des activités liées à l'éducation et la diffusion des connaissances.

BESOINS NUMÉRIQUES ET DONNÉES

L'astronomie doit utiliser des données provenant d'observatoires très variés. La question de la mise en commun de ces données s'est posée très rapidement, et a été résolue par l'édiction de règles et de pratiques rendant interopérables toutes ces bases de données indépendantes. L'International Virtual Observatory Alliance (IVOA) est responsable de cet aspect. En France, le **CDS** (Centre de Données de Strasbourg) a été un des pionniers de l'observatoire virtuel et reste un pilier de l'IVOA. Tous les grands observatoires obéissent aux recommandations de l'IVOA, et mettent à la disposition des astronomes du monde entier des archives de données observationnelles exploitables scientifiquement.

Les grands projets observationnels tels que le **LSST**, ou **SKA** et ses précurseurs promettent une avalanche de données à réduire et à analyser, ce qui posera de nouveaux jalons en termes de logistique des données. Ces projets auront à traiter des données massives en exploitant le meilleur des grandes architectures existantes (**CC-IN2P3, GENCI**) ou avec des architectures dédiées. Une réflexion doit être menée concernant le niveau de centralisation ou de regroupement des moyens de stockage et de traitement des données (**CC-IN2P3,** Mésocentres) et sur les synergies interdisciplinaires à encourager. Pour faire face à ce défi numérique, la communauté aura besoin de se structurer autour de nouvelles expertises en calcul scientifique et de nouveaux formalismes d'analyse des données (intelligence artificielle). Il est à noter que certaines

de ces problématiques de la donnée existent aussi pour les simulations numériques.

La simulation numérique est un des piliers de notre compréhension théorique de l'univers. Ces simulations reposent pour une large part sur du calcul massivement parallèle, faisant appel à des dizaines de millions d'heures de calcul et à des centaines ou des milliers de To de stockage, posant ainsi de nombreux défis techniques que ce soit en termes d'exploitation des architectures de calcul, ou bien de la logistique et de la mise à disposition (dans le contexte de science ouverte) des données simulées. Les simulations numériques en astrophysique sont fortement structurées autour de codes communautaires (RAMSES, PLUTO, AMRVAC, etc.). Les simulations numériques bénéficient de l'accès au **GENCI** au niveau national (> 100 millions heures/an) et PRACE au niveau Européen. On peut citer le projet CODA-II qui a simulé la réionisation de l'univers en exploitant 16,000 cartes GPU en parallèle ou encore le projet Extreme-Horizon pour simuler les galaxies dans les grandes structures de l'univers avec une approche multi-résolution. L'arrivée de nouvelles architectures (pré)Exascale impose à ces codes de simulation de nouveaux paradigmes de programmation, faisant appel à des approches nouvelles. Ces changements d'architectures requièrent des expertises techniques spécifiques encore peu présentes dans les laboratoires d'astronomie.

DÉMARCHES DE SCIENCE OUVERTE

L'astronomie est pionnière pour le développement de l'accès libre aux données, qu'il s'agisse des données brutes issues des télescopes, de données issues de traitements avancés comme les catalogues d'objets ou de logiciels de traitement et d'analyse. Les grands observatoires au sol et dans l'espace disposent presque tous d'une archive interopérable dans le cadre de l'Observatoire Virtuel (IVOA) permettant la découverte et l'accès libre aux données après une courte période d'embargo. Les analyses de bibliométrie montrent un pourcentage significatif (30% pour l'**ESO**) de publications basées sur l'usage de ces archives. Le **CDS** est le fer de lance de ces activités en France grâce à ses équipes rassemblant astronomes, informaticiens et documentalistes. Les outils d'accès aux informations scientifiques développés au **CDS** sont enrichis par l'analyse des publications dans le cadre de partenariats avec la revue Astronomy and Astrophysics, le CNES, l'ESA et l'**ESO**, et contribuent au service de bibliographie international NASA Astrophysical Data System. L'Observatoire Virtuel ne se limite pas aux données issues des observations mais inclut aussi la mise à disposition de données issues de simulations ou modélisations numériques. Cette expertise de la communauté d'astronomie est reconnue au sein des actions internationales comme RDA (Research Data Alliance) et des groupes de travail relatifs à la science ouverte en France, et en Europe (European Open Science Cloud) et dans de nombreux projets européens (cluster ESCAPE).

LES MANQUES POTENTIELS À COMBLER, AINSI QUE LES ORIENTATIONS POUR LES 5 PROCHAINES ANNÉES

Orientation scientifique

Les grands domaines qui vont focaliser les efforts dans les années à venir vont surtout tourner sur 3 thèmes :

- la cosmologie : inflation, énergie sombre, matière noire, et formation des structures
- la physique des objets compacts, la mort des étoiles et le développement de l'astronomie multi-messager et des phénomènes transitoires,
- la formation des étoiles et des planètes, la planétologie comparée, les exoplanètes et l'exobiologie.



Les grandes priorités concernant les infrastructures ne changent pas par rapport à la feuille de route 2018, conformément aux prospectives INSU et astroparticules.

Il faut noter l'importance croissante des aspects numériques, grandes bases de données, interopérabilité, et les besoins en HPC pour les simulations numériques niveau exascale, qui vont devenir de plus en plus indispensables pour la modélisation et la simulation des phénomènes cosmiques.

Il faut noter la décision française de ne pas devenir membre du European Solar Telescope aux Canaries, projet labellisé ESFRI et poussé par plusieurs pays européens. Bien que la physique solaire fasse partie des priorités thématiques françaises, le centre de gravité s'est déplacé vers le spatial pour les infrastructures de très grandes tailles dans ce domaine.

Difficultés et améliorations possibles

L'évolution récente de l'astronomie, le développement de domaines aux interfaces avec d'autres disciplines, le développement de l'astronomie multimessagers et des phénomènes transitoires et l'explosion du numérique doivent être pris en compte. Il faut faciliter les carrières des chercheurs aux interfaces de l'astronomie. Un effort devra porter sur le développement de compétences à l'interface astronomie-numérique, surtout pour le HPC, le Big Data et l'Intelligence Artificielle

Le coût des projets augmente en proportion de la complexité des instruments et de la quantité de données qu'ils fournissent. Si les sources de financement traditionnelles sont généralement adéquates pour financer la construction des IR, il est cependant plus difficile de financer les phases amont (R&D préparatoire) et aval (exploitation scientifique).

Les domaines à l'interface bénéficieraient d'une meilleure gouvernance d'ensemble prenant notamment en compte les priorités des différents instituts du CNRS impliqués : INSU, IN2P3, INP.

Même si l'astronomie est une science populaire, son impact sociétal et économique reste très mal connu. On pourrait mieux utiliser l'astronomie comme vecteur de la culture scientifique et technique dans l'enseignement dans les lycées et les premières années d'université mais aussi pour favoriser l'accès des femmes aux métiers scientifiques et pour améliorer la diversité sociale des parcours scientifiques.

	Radio basse fréquence	Radio millimétrique	Visible et infrarouge	Gamma Haute énergie	Particules cosmiques	Ondes Gravita-tionnelles	Simulations Et données	Instrumentation
Physique fondamentale	SKA		ESO VLTI, ESO ELT, LSST VRO	CTA	KM3NeT, AUGER	VIRGO		
Univers Primordial	SKA, LOFAR		CFHT, ESO VLT, ESO VLTI, ESO ELT, LSST VRO	CTA			Simulation GENCI PRACE	
Formation et évolution des galaxies	SKA, LOFAR	NOEMA IRAM, ESO ALMA	CFHT, ESO VLT, ESO VLTI, ESO ELT, LSST VRO				Simulation GENCI PRACE	
Formation et évolution des étoiles		NOEMA IRAM, ESO ALMA	CFHT, ESO VLT, ESO VLTI, ESO ELT			VIRGO	Simulation GENCI PRACE	
Des étoiles aux objets compacts	SKA, LOFAR	NOEMA IRAM, ESO ALMA	ESO VLT, ESO VLTI, ESO ELT, LSST VRO	CTA, HESS	KM3NeT, AUGER	VIRGO	Simulation GENCI PRACE	
Planètes et exobiologie	SKA, LOFAR	NOEMA IRAM, ESO ALMA	CFHT, ESO VLT, ESO VLTI, ESO ELT				Simulation GENCI PRACE	
Technologie et support							CDS IOVA	Paradise, Instrum-ESO

LOFAR — Infrastructure en fonctionnement

SKA — Infrastructure en développement

VIRGO — Infrastructure dont la description se trouve dans d'autres rubriques

Les infrastructures de recherche en astronomie et en astrophysique regroupées par domaines d'observation et ordonnées en fonction des domaines de recherche. Les IR encadrées avec un trait continu correspondent à des IR en fonctionnement, celles avec un cadre en pointillés à des IR en cours de développement. Les IR sur fond gris sont celles décrites dans la feuille de route Physique nucléaire et des hautes énergies ainsi que dans la feuille de route Services numériques (calcul et réseau).



ESO

European Southern Observatory

L'ESO est la première organisation intergouvernementale européenne pour l'astrophysique au sol et dispose du leadership mondial dans le domaine optique et infrarouge. Seize pays européens en sont membres et contribuent en proportion de leur PIB. Un accord de partenariat avec l'Australie a été signé en 2017. Le Chili, pays hôte, n'est pas membre de l'ESO mais bénéficie de 10 % du temps d'observation. Les programmes scientifiques sont très variés, et vont de la planétologie à la cosmologie. À part la physique solaire et l'exploration directe des corps du système solaire, l'ensemble des grandes questions de l'astronomie sont abordées.

Les observatoires dépendant de l'ESO sont les suivants :

– observatoire de La Silla (télescope de 3,60 m et NTT);
– observatoire de Paranal (4 télescopes de 8,20 m du VLT auxquels s'ajoutent 4 télescopes de 1,80 m pour former le VLTI, et 2 télescopes grand champ);
– observatoire millimétrique et submillimétrique ALMA à hauteur de 37,5 %, Amérique du Nord (États-Unis et Canada) à hauteur de 37,5 %, Asie (Japon et Taiwan) à hauteur de 25 %, Chili (pays hôte, pas de contribution directe), comprenant 66 antennes (50 antennes de 12 m de diamètre pour l'interférométrie, 4 antennes de 12 m pour des observations en puissance totale, et un réseau compact de 12 antennes de 7 m de diamètre);
– ELT : projet de télescope visible et infrarouge de 39 m de diamètre, inscrit sur la feuille de route ESFRI dont la première lumière est prévue en 2027.


© ESO

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

L'ESO est un acteur majeur pour les développements de haute technologie, opto-mécanique, détecteurs, lasers, instrumentation complexe, avec un important retour industriel voisin de 60 % du budget de l'organisation. De nombreuses entreprises françaises en bénéficient comme titulaires de contrats ou sous-traitants. Forte visibilité dans les médias et la diffusion des connaissances. Programmes de formation aux niveaux thèse et post-doctoral.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 131 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application

Catégorie : OSI
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Établissement(s) français porteur(s) : MESRI

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Guy Perrin, Karine Perraut
Année de création : 1962
Année d'exploitation : 1965
Tutelles/Partenaires : CNRS, CEA, ONERA, Observatoire de Paris, Observatoire de la Côte d'Azur
Contact en France : guy.perrin@recherche.gouv.fr, karine.perraut@cnrs.fr
Site web : www.eso.org/public/france

Dimension internationale

ESFRI landmark : ESO/ELT
Responsable : Xavier Barcons, directeur général

Pays membres : AT, BE, CH, CZ, DE, DK, ES, FI, FR, IE, IT, NL, PL, PT, SE, UK
Pays partenaires : AU, CL
Site internet : www.eso.org/public/france



ESO/ALMA

Atacama Large Millimeter/Submillimiter Array

Les objectifs principaux d'ALMA sont l'étude du gaz moléculaire et de la poussière dans l'univers.
Les principaux thèmes scientifiques que l'on peut mettre en avant sont la formation et l'évolution des galaxies, depuis l'univers lointain à haut décalage spectral jusqu'à l'univers local, la physique et la chimie du milieu interstellaire et la formation des étoiles et des systèmes planétaires, l'étude des comètes et des atmosphères planétaires, ainsi que des petits corps du système solaire.

ALMA est un interféromètre radio comprenant 66 antennes (50 antennes de 12 m de diamètre pour l'interférométrie, 4 antennes de 12 m pour des observations en puissance totale, et un réseau compact de 12 antennes de 7 m de diamètre).
La plus grande ligne de base disponible est de 14 km, permettant d'atteindre une résolution de 0,007 seconde d'angle à la plus haute fréquence observable.



Le temps d'observation est attribué sur appels d'offres ouverts à l'ensemble de la communauté internationale. Les propositions sont évaluées selon leur mérite scientifique par un comité unique d'allocation du temps de télescope ; le temps d'observation est ensuite attribué de façon à ce que chaque partenaire ait un retour proportionnel à son investissement, le Chili en recevant pour sa part 10 %.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les équipements d'ALMA sont principalement construits par l'industrie : antennes (Thalès), centrales électriques (Engie), calculateurs (ST microélectronique) et transport du signal. L'instrumentation est conçue et construite dans des laboratoires de recherche, ainsi que les logiciels. Forte activité, en particulier au Chili, pour la diffusion des connaissances scientifiques et techniques et la formation mais aussi au travers de l'ESO en Europe.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://bitbucket.sco.alma.cl/projects/ASW
- Production annuelle de données : 500 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application

Catégorie : OSI
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Établissement(s) français porteur(s) : MESRI

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Guy Perrin
Année de création : 2003
Année d'exploitation : 2013
Contact en France : guy.perrin@recherche.gouv.fr
Site web : www.eso.org/public/france/about-eso

Dimension internationale

Responsable : Sean Dougherty, directeur

Pays partenaires : AT, BE, CH, CA, CL, CZ, DE, DK, ES, FI, FR, IE, IT, JP, KR, NL, PL, PT, SE, TW, UK, US
Site internet : www.almaobservatory.org/en/home



SKAO

SKA Observatory

Le projet SKA sera l'une des plus grandes machines de physique construites sur Terre. Les instruments de cet observatoire en radioastronomie ont été conçus entre 2012 et 2020 par SKA Organisation, une entreprise regroupant des membres de 14 pays (dont le CNRS) et des collaborations avec des instituts dans plus de 20 pays.

Aujourd'hui, c'est une organisation intergouvernementale dont le siège se trouve au Royaume-Uni, l'Observatoire SKA (SKAO), qui gère la construction et gérera bientôt l'exploitation des télescopes et des infrastructures nécessaires pour fournir aux astrophysiciens les données scientifiques à analyser. L'annonce de l'adhésion de la France à l'Observatoire SKA a été faite par le Président de la République Emmanuel Macron à l'occasion de sa visite d'État en Afrique du Sud en mai 2021. Début 2022, le processus de ratification de l'adhésion française est en cours.

La construction de SKAO a commencé le 1er juillet 2021. Le résultat sera un observatoire exploitant deux interféromètres composés de grands réseaux d'antennes (plus de 131 000 antennes log-périodiques en Australie, SKA-LOW, et un peu moins de 200 antennes paraboliques d'environ 15 m de diamètre en Afrique du Sud, SKA-MID), capables de capter globalement le rayonnement électromagnétique émis par les objets célestes entre 50 MHz et 15,4 GHz. Au cours des prochaines décennies, cet observatoire permettra des découvertes majeures en astronomie et en physique fondamentale.



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Au travers du travail de la structure SKA-France, pilotée par le CNRS et qui voit la collaboration directe des mondes académique et industriel depuis 2016, les principales contributions françaises à la construction de SKAO sont autour d'enjeux sociaux majeurs (domaines du calcul et de l'énergie). La France pilote en particulier la conception et la fourniture des deux centres de données sub-exascale haute performance énergétique de SKAO.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Production annuelle de données : 700 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://astronomers.skatelescope.org/the-ska-regional-centres

Catégorie : OSI

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris

Établissement(s) français porteur(s) : MESRI

Directeurs de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Pascale Delbourgo, Chiara Ferrari, Michel Pérault

Année de création : 2016

Année d'exploitation :

Tutelles/Partenaires : CNRS, CEA, Inria, Observatoire de la Côte d'Azur, Observatoire de Paris, Université de Bordeaux, Université d'Orléans

Contact en France : pascale.delbourgo@recherche.gouv.fr, chiara.ferrari@oca.eu, michel.perault@cnrs-dir.fr

Site web : https://ska-france.oca.eu/fr

Dimension internationale

ESFRI landmark

Responsable : Philip Diamond, directeur général

Pays partenaires : AU, CA, CH, CN, DE, ES, FR, IN, IT, JP, KR, NL, PT, SE, UK, ZA

Site internet : https://france.skatelescope.org



CFHT

Canada-France-Hawaii Telescope

Le CFHT est situé dans l'un des meilleurs sites de l'hémisphère nord, qui permet des observations de grande qualité d'image. Tous les domaines de l'astronomie, y compris la planétologie et la cosmologie, sont concernés. L'infrastructure est composée d'un télescope de 3,6 m et d'une suite d'instruments très performants associés : MEGACAM (imagerie à grand champ dans le domaine visible), WIRCAM (imagerie dans le domaine infrarouge), ESPaDOnS (spectro-polarimètre pour l'étude de la vie magnétique des étoiles), Sitelle (spectromètre à transformée de Fourier dans le domaine visible) et SPIRou (spectro-polarimètre infrarouge ultra stable). Le temps d'observation est attribué à partir d'appels à propositions évaluées et classées par un comité scientifique. Une très large fraction du temps d'observation (60%) est consacrée à des «grands programmes», avec des configurations instrumentales stables, des observations en mode service et une estimation en temps réel du rapport signal-sur-bruit afin d'optimiser la durée des poses.



Une part importante du temps de télescope est consacrée actuellement à deux programmes majeurs : 1/ la cartographie d'une grande partie du ciel boréal avec la caméra MEGACAM pour étudier les galaxies et apporter un complément indispensable aux observations de la mission spatiale Euclid d'étude de l'énergie sombre; 2/ l'étude d'exo-planètes autour d'étoiles de faible masse, à partir d'observations spectroscopiques dans l'infrarouge avec SPIRou.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Une instrumentation innovante à la pointe de la technologie est nécessaire et demande souvent des études amont de R&D. On peut citer notamment les détecteurs Hawaii 4RG pour l'instrument SPIRou ou encore les grands réseaux pour les spectrographes à échelle montés sur ESPaDOnS et SPIRou.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 20 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Localisation des autres sites (en France) :
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Martin Giard
Année de création : 1974
Année d'exploitation : 1977
Contact en France : Martin.Giard@cnrs-dir.fr
Site web : www.cfht.hawaii.edu/fr

Dimension internationale

Responsable : Jean-Gabriel Cuby, directeur exécutif

Pays partenaires : CA, FR, US
Site internet : www.cfht.hawaii.edu/fr



CTA

Cherenkov Telescope Array

CTA est un réseau de télescopes optiques au sol, qui permet d'observer les photons gamma de très haute énergie de manière indirecte en détectant les éclairs ténus de lumière Cherenkov émis par les gerbes de particules créées lors de l'interaction d'un photon gamma cosmique avec l'atmosphère terrestre. CTA, dans sa configuration initiale, sera composé de plus de 60 télescopes Cherenkov au sol distribués en deux réseaux, l'un dans l'hémisphère sud au Chili pour une observation du centre Galactique et l'autre dans l'hémisphère nord aux Canaries. Trois types de télescopes sont prévus : un noyau de quelques grands télescopes (~24 m de diamètre) pour la détection des gerbes de basse énergie, un réseau de télescopes de taille intermédiaire (~12 m) optimisant la sensibilité aux énergies autour du TeV, et des télescopes de plus petite taille (~4 m) pour les observations aux plus hautes énergies. La distribution des tailles des télescopes et leurs nombres seront différents entre les sites nord et sud.



© Gabriel Pérez Diaz, IAC

CTA conduira à une amélioration de la sensibilité des observatoires actuels de presque un ordre de grandeur tout en assurant une meilleure résolution angulaire et étendra le domaine d'énergie de 30 GeV à 300 TeV. CTA permettra ainsi de découvrir des nouvelles sources d'émission de photons à haute énergie, de mieux comprendre les mécanismes de leur accélération, d'étudier les sursauts gamma et de détecter de possibles signaux liés à la matière noire.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

La construction de CTA a créé des opportunités pour le transfert technologique vers des entreprises françaises. De nombreux partenariats ont été réalisés dans dans le domaine de l'optique, de l'électronique et de la mécanique pour équiper les caméras NectarCAM ou pour réaliser les télescopes de petite, moyenne et grande taille. On peut notamment citer des partenariats sur la réalisation de miroirs ou la fabrication des arches des télescopes

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 2 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Établissement(s) français porteur(s) : CEA, CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Danielle Gallo, Martin Giard, Vincent Poireau
Année de création : 2016
Année d'exploitation : 2023
Tutelles/Partenaires : Aix-Marseille Université, École polytechnique, Observatoire de Paris, Sorbonne Université, Université de Bordeaux, Université Grenoble-Alpes, Université de Montpellier, Université de Paris, Université Paris-Saclay, Université Savoie Mont-Blanc, Université de Toulouse III - Paul Sabatier
Contact en France : danielle.gallo@cea.fr, martin.giard@cnrs.fr, vincent.poireau@cnrs.fr
Site web : www.facebook.com/CTA.France

Dimension internationale

ESFRI landmark
Responsable : Federico Ferrini, directeur

Pays partenaires : AT, AU, CH, CZ, DE, ES, FR, IT, JP, SI, UK
Organisation intergouvernementale partenaire : ESO
Site internet : www.cta-observatory.org



IRAM

Institut de RadioAstronomie Millimétrique

L'IRAM, dont le siège est situé à Grenoble, est l'un des leaders mondiaux dans le domaine de la radio-astronomie millimétrique. C'est un institut franco-allemand-espagnol, en charge de deux observatoires astronomiques : l'antenne de 30 m de Pico Veleta (Espagne) et l'interféromètre NOEMA de 12 antennes de 15 m, situé sur le plateau de Bure (Hautes-Alpes). Ces instruments sont utilisés par la communauté scientifique des pays partenaires. La gamme spectrale millimétrique permet d'observer l'émission de la matière froide, gaz moléculaire et poussières, qui sont des éléments fondamentaux pour la formation des étoiles et des galaxies. L'IRAM dispose d'instruments parmi les tous meilleurs au niveau mondial dans leurs domaines, offrant des possibilités uniques en termes de performances des récepteurs, capacités spectroscopiques, étendues des champs de vue, ou capacité de mener des grands programmes pluriannuels. L'IRAM participe activement au réseau mondial d'observatoires EHT


© IRAM

dont les données sont combinées pour fournir des images à très haute résolution (image du trou noir de M87). L'IRAM a par ailleurs une expertise reconnue dans le développement de technologies et d'instrumentation dans le domaine Teraherz et a ainsi contribué au développement de plusieurs autres observatoires (par exemple ALMA dans l'hémisphère Sud).

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Une très grande partie du budget d'investissement de l'IRAM est investie dans des contrats industriels, par exemple pour la réalisation, au cours des dernières années, des six nouvelles antennes de 15 m du projet NOEMA. Il s'agit de développements de hautes technologies, demandant souvent des efforts de R&D spécifiques.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 30 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Saint-Martin-d'Hères
Localisation des autres sites (en France) : Dévoluy
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Karl Schuster
Année de création : 1979
Année d'exploitation : 1985
Tutelles/Partenaires : Max-Planck Gesellschaft, MPG, Instituto Geográfico Nacional, IGN
Contact en France : schuster@iram.fr
Site web : www.iram-institute.org

Dimension internationale

Responsable : Karl Schuster, directeur

Pays partenaires : DE, ES, FR
Site internet : www.iram-institute.org

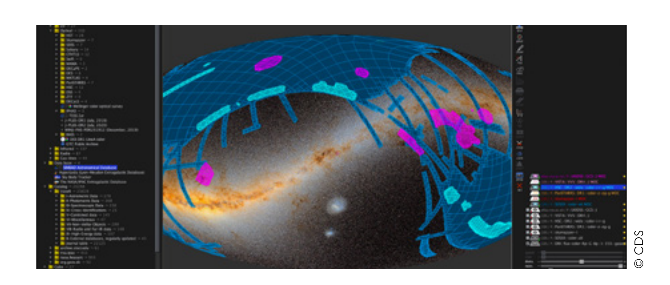


CDS

Centre de Données astronomiques de Strasbourg

La mission du CDS est de collecter, homogénéiser, distribuer l'information astronomique, pour le bénéfice de l'ensemble de la communauté internationale. L'objectif est de faciliter le travail des astronomes en regroupant de l'information, avec des liens avec les archives d'observatoires, les journaux académiques et les autres bases de données, en particulier ADS et NED. Le CDS est l'un des acteurs majeurs du développement de la science ouverte en astronomie, y compris le développement l'Observatoire Virtuel (OV) astronomique, qui vise à donner un accès transparent et FAIR à l'ensemble des ressources en ligne de l'astronomie.

Le CDS développe des services largement utilisés par la communauté : SIMBAD, la base de données de référence pour les identifications et la bibliographie des objets hors système solaire ; VizieR, la base de données de référence pour les grands relevés du ciel, les catalogues et les tables publiées dans les journaux académiques, et de plus en plus pour d'autres types de données « attachées aux publications » ; l'atlas interactif du ciel Aladin, portail qui permet d'accéder à la collection d'images de référence du CDS et aux images disponibles dans les archives des observatoires sol et spatiaux. Le CDS fournit également un service d'identification croisée de très grands catalogues. En 2021, les services CDS ont géré plus de 1 500 000 requêtes par jour.



© CDS

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Contrats de longue durée en support à l'accès ouvert aux services, y compris aux acteurs socio-économiques intéressés. Contrat avec le journal Astronomy & Astrophysics pour la publication des données associées aux articles. Stagiaires universités/écoles d'ingénieur (12 par an); le travail au CDS est une excellente préparation à l'emploi pour les étudiants en informatique. Les services CDS sont utilisés par les planétariums.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/cds-astro
- Production annuelle de données : 150 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Strasbourg
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, Université de Strasbourg

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Mark Allen
Année de création : 1972
Année d'exploitation : 1972
Contact en France : mark.allen@astro.unistra.fr
Site web : http://cdsweb.u-strasbg.fr/index-fr.gml

Dimension internationale

IVOA/Euro-VO International Virtual Observatory of Astronomy

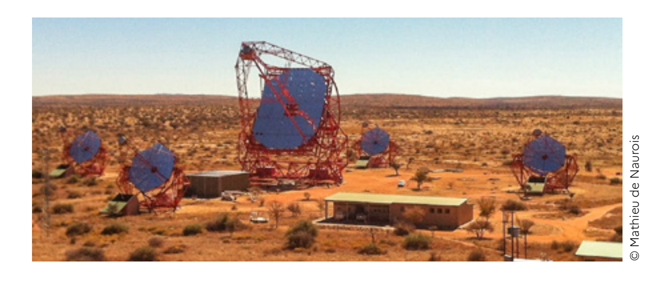
Pays partenaires : AR, AM, AU, BR, CA, CL, CN, DE, FR, HU, IN, IT, JP, NL, RU, ZA, ES, UA, UK, USA
Organisation intergouvernementale partenaire : ESA
Site internet : http://ivoa.net



HESS

High Energy Stereoscopic System

HESS est un réseau de télescopes à imagerie Tcherenkov atmosphérique situé sur les hauts plateaux de Khomas, à proximité du Gamsberg en Namibie. Il est conçu pour l'étude des rayons gamma cosmiques entre quelques dizaines de giga-électronsvolts et une centaine de téra-électronsvolts. Le réseau est composé de 4 télescopes d'un diamètre de 12 m (correspondant à la première phase du projet) et d'un cinquième télescope de 28 m de diamètre depuis septembre 2012, permettant de doubler la sensibilité du réseau et d'abaisser le seuil en énergie (jusqu'à 50 GeV voire 20 GeV).


© Mathieu de Naurois

Les 2 principales caractéristiques de l'installation sont l'observation simultanée de cascades de particules provoquées par les rayons gamma entrant dans l'atmosphère terrestre, sous différents angles, et la combinaison de plusieurs télescopes en un seul système plus grand, pour augmenter la surface effective de détection des rayons gamma et améliorer leur caractérisation. Grâce à la grande sensibilité ainsi atteinte (de quelques millièmes du flux de la nébuleuse du Crabe, source de référence), HESS permet d'étudier les phénomènes cosmiques de haute énergie avec une précision remarquable : rayons cosmiques, milieu interstellaire et diffusion, objets compacts, sursauts gamma, physique des jets, cosmologie, matière noire, etc.

HESS pourrait rester opérationnel jusqu'à ce que le site dans l'hémisphère Sud de CTA ait pris la relève. Une prolongation des opérations jusqu'en septembre 2024 a été acquise.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

La construction a fait appel à de nombreuses entreprises spécialisées dans les domaines du génie civil, de la mécanique (structures métalliques), de la microélectronique (ASICS), de l'automatisme et de la photo-détection.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/gammapy/gammapy
- Production annuelle de données : 1 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/pages/dl3-dr1

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : monosite

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris

Établissement(s) français porteur(s) : CEA, CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Mathieu de Norois

Année de création : 2002

Année d'exploitation : 2003

Tutelles/Partenaires : Aix-Marseille Université, École polytechnique, Observatoire de Paris, Sorbonne Université, Université de Bordeaux, Université de Montpellier, Université de Paris, Université Paris-Saclay, Université Savoie Mont-Blanc

Contact en France : denauroi@in2p3.fr

Site web : www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS/HESS.shtml

Dimension internationale

Responsable : Stefan Wagner, porte-parole de la collaboration

Pays partenaires : AM, AT, AU, DE, FR, IE, JP, NA, NL, PL, SE, UK, ZA

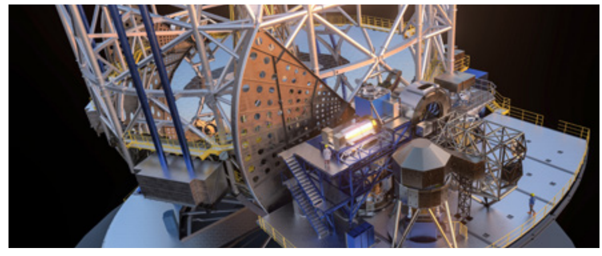
Site internet : www.mpi-hd.mpg.de/hfm/HESS



Instrum-ESO

Instrumentation pour les grands télescopes de l'ESO

La mission de l'infrastructure est la coordination et l'accompagnement de la réalisation des instruments qui seront placés au foyer des différents télescopes de l'ESO, aujourd'hui les 4 télescopes de 8 mètres du Very Large Telescope (VLT), y compris dans son mode de fonctionnement interférométrique (VLTI), le télescope spécialisé pour les grands relevés VISTA, et, dans le futur, l'Extremely Large Telescope (ELT) de 39 mètres. Cette action vise en particulier à soutenir l'achèvement des développements actuels de l'instrumentation du VLT (MOONS) et du VLTI (MATISSE), la poursuite des développements VLT et VLTI (instruments du plan VLT-2030 : GRAVITY+, BlueMuse et SPHERE Upgrade), la participation à l'instrumentation de VISTA (4MOST) et les développements de l'instrumentation pour l'ELT (HARMONI, MICADO, MAORY, METIS, MOSAIC et HIRES), y compris la R et D préparatoire aux futurs instruments. Ces instruments, identifiés comme des priorités par la communauté astrophysique française en particulier lors des exercices de prospectives du CNRS/INSU, opèrent dans le visible et l'infrarouge. Ils couvrent l'ensemble des domaines de l'astrophysique : planétologie, planètes extrasolaires, physique stellaire, physique galactique, physique extragalactique, cosmologie… Ils sont préparés dans des consortia internationaux.



© ESO

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

L'IR dispose de 45 partenaires non académiques dont, depuis 2006, 3 ayant des astronomes comme fondateurs. En particulier, les développements de haute technologie, opto-mécanique, détecteurs, lasers, instrumentation complexe font l'objet de collaborations entre les laboratoires et l'industrie.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle http://gitlab.lam.fr/efisoft
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris

Localisation des autres sites (en France) : Marseille, Meudon, Nice, Saclay, Saint-Genis-Laval, Saint-Martin-d'Hères, Toulouse

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Martin Giard

Année de création : 2005

Année d'exploitation : 2005

Tutelles/Partenaires : Aix-Marseille université, CEA, ENS de Lyon, Institut d'Optique Graduate School, Observatoire de la côte d'azur, Observatoire de Paris, ONERA, Sorbonne Université, Université Claude Bernard - Lyon 1, Université de la Côte d'Azur, Université de Grenoble Alpes, Université de Paris, Université Paris-Saclay, Université de Toulouse III - Paul Sabatier, Université de Franche-Comté

Contact en France : Martin.Giard@cnrs-dir.fr

Site web : www.eso.org/public/france



LOFAR/NenuFAR

International LOFAR (Low Frequency Array) Telescope – NenuFAR

LOFAR, le premier grand radiotélescope « numérique », permet d'étendre les observations radio aux plus basses fréquences (10 à 240 MHz) et à la plus haute résolution angulaire accessibles depuis le sol. Ses objectifs principaux sont la cosmologie, les amas de galaxies, les champs magnétiques cosmiques, le rayonnement cosmique, le Soleil, les planètes, et l'univers variable (pulsars, trous noirs et sources à haute énergie, planètes et exoplanètes). Il est composé de 52 stations (38 aux Pays-Bas, 14 en Allemagne, France, Irlande, Lettonie, Pologne, Grande-Bretagne, Suède). Chaque station comprend 96 antennes basse-fréquence et 96 tuiles d'antennes haute-fréquence, reliées à très haut débit (3 Gb/s) au corrélateur central. NenuFAR, basé à Nançay, est constitué de 96 mini-réseaux (MR) de 19 antennes chacune, particulièrement optimisées pour l'ensemble de la bande 10-80 MHz. S'y ajoutent 6 MR distants pour l'imagerie. Il pourra simultanément être connecté à LOFAR en remplacement des antennes basses fréquences françaises, agissant comme une super-station de LOFAR dont il augmentera fortement la sensibilité et d'autres caractéristiques. Grâce à un dédoublement du signal des antennes avant l'entrée dans les chaînes de traitement, NenuFAR opèrera indépendamment et simultanément comme un instrument autonome avec une programmation scientifique spécifique. LOFAR fera l'objet d'une jouvence LOFAR 2.0 en 2023.



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

LOFAR a été réalisé à l'étranger, son installation à Nançay s'est appuyée sur des entreprises françaises. La réalisation de NenuFAR a fait appel à des sous-traitants en France, pour la construction et pour l'installation : calculateur avec le développement d'une carte de calcul haute-performance, liaisons coaxiales, systèmes électroniques de phasage analogique du télescope et d'autres sous-traitances pour des fibres-optiques, des racks électroniques, etc.

Science ouverte et données

- Infrastructure dotée d'une politique de science ouverte.
- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert.
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application.

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Station de Radioastronomie de Nançay, Cher
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, Observatoire de Paris, Université d'Orléans

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Philippe Zarka
Année de création : 2011
Année d'exploitation : 2011
Contact en France : philippe.zarka@obspm.fr
Site web : www.obs-nancay.fr/lofar

Dimension internationale

ILT
Responsables : Rene Vermeulen

Pays partenaires : DE, FR, IE, LV, NL, PL, SE, UK
Site internet : www.lofar.org



PARADISE

Plateforme pour les Activités de Recherche Appliquée et de Développement en Instrumentation au Sol et Embarquée

PARADISE (Plateformes pour les Activités de Recherche Appliquée et de Développement en Instrumentation au Sol et Embarquée) est une infrastructure de recherche qui vise à fédérer au niveau national les principaux moyens d'intégration et de test existant pour l'instrumentation en sciences de l'univers afin de proposer à tous les acteurs du domaine une gamme complète d'expertises, de prestations et les moyens pour les réaliser :

– hall d'intégration et salles blanches ;
– simulateurs d'environnements ;
– moyens de tests optiques, mécaniques, thermiques, électroniques…

PARADISE répond à un besoin lié à la complexification croissante des instruments en général, leur intégration et tests en particulier, et des corsortia qui les réalisent, nécessitant une forte coordination nationale dès le montage des projets. PARADISE a également pour but :

– de partager l'expertise à l'échelle nationale pour gagner en qualité ;



© Image composites par M. Ollivier à partir de plusieurs images prises sur les sites internet des plateformes

– de consolider le lien entre les laboratoires et les instruments pour optimiser l'implication dans les projets instrumentaux au sein des consortia internationaux ;
– de coordonner le développement, l'opération et la jouvence des moyens d'essais à l'échelle nationale afin de pérenniser leur fonctionnement et l'expertise associée ;
– de favoriser l'intégration entre le monde académique et industriel.

L'IR s'appuie sur les installations de 6 sites déjà existants à Paris-Saclay, Meudon, Marseille et Toulouse.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

PARADISE permet aux industriels, via ses installations et ses personnels sur ses 6 sites, de réaliser, l'intégration et les tests d'instruments ou de sous-systèmes instrumentaux pour le spatial ou d'autres environnements extrêmes. Intégré dans son écosystème, chaque site possède son propre modèle économique, sur le principe de prestations ou de partenariat plus direct avec l'industrie.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 1 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Gif-sur-Yvette, Guyancourt, Marseille 13e, Meudon, Orsay, Toulouse

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Marc Ollivier

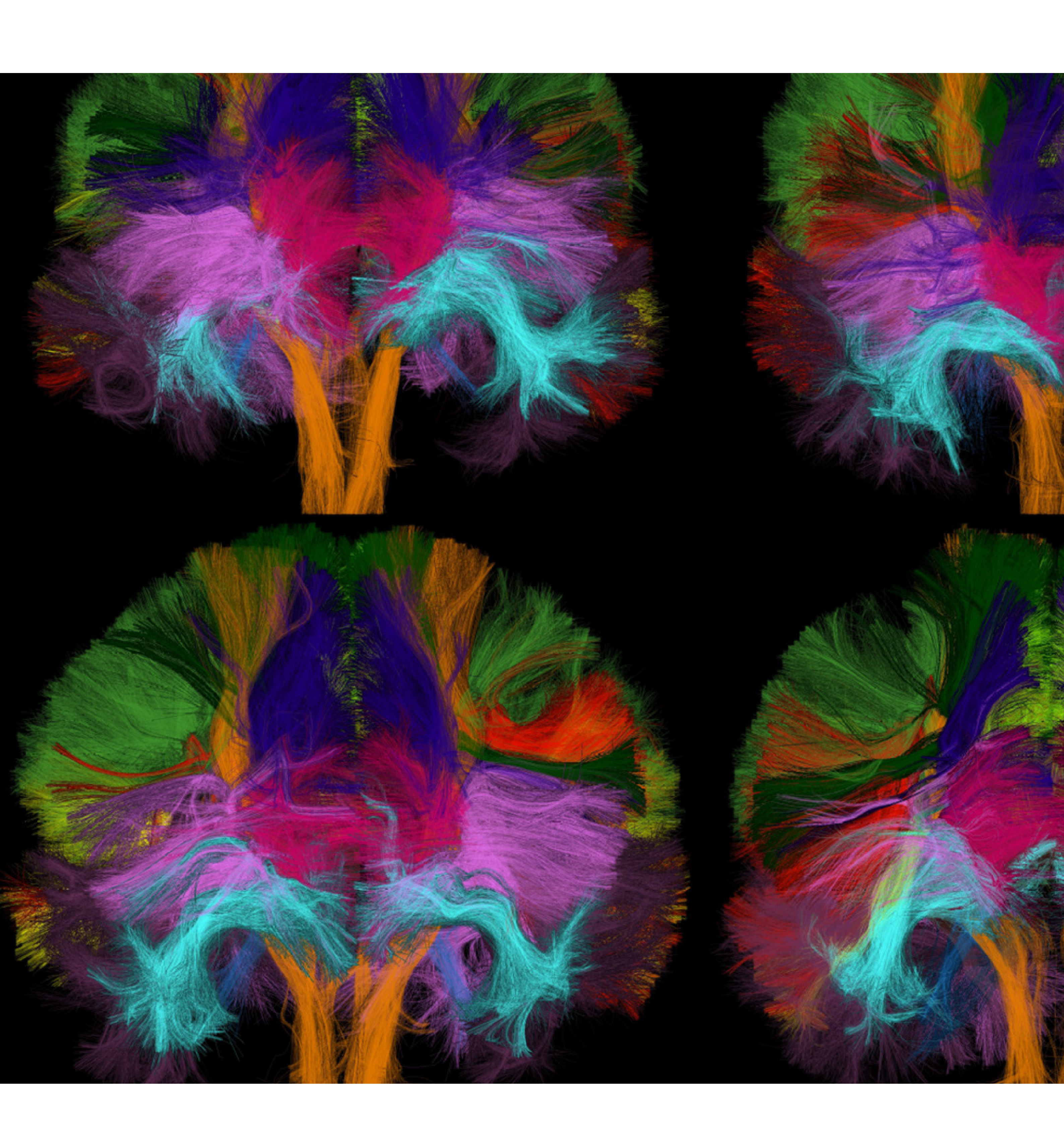
Année de création : 2019

Année d'exploitation : 2019

Tutelles/Partenaires : Aix-Marseille Université, CEA, CNES, Observatoire de Paris, Université de Paris, Université Paris-Saclay, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Sorbonne Université, Université Toulouse III - Paul Sabatier

Contact en France : marc.ollivier@universite-paris-saclay.fr

Site web : www.gis-paradise.fr

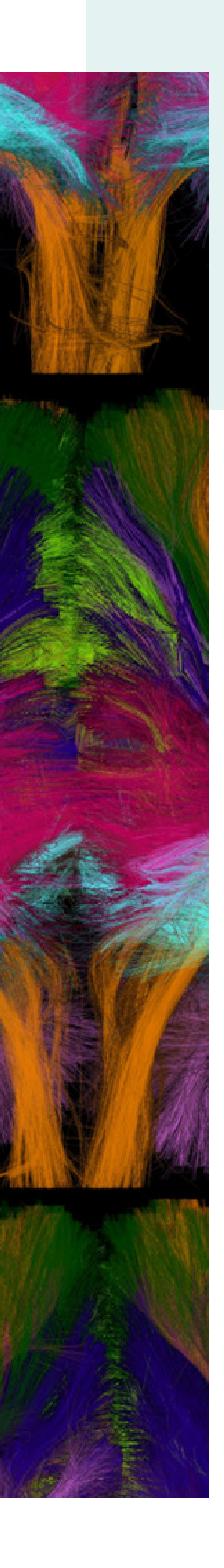


2.

Biologie et **santé**



Biologie et santé



Les recherches en « Biologie et Santé » ont bénéficié ces dernières décennies, et de plus en plus rapidement, de l'arrivée massive de nouvelles technologies permettant l'exploration du vivant. Ces dernières ont conduit à un changement d'échelle dans les approches utilisées et permis d'aborder les questions scientifiques à travers un ensemble d'approches complémentaires performantes (multimodalité). Les infrastructures de recherche, souvent construites autour de ces nouvelles technologies, ont permis aux communautés scientifiques d'accéder à des équipements et dispositifs souvent lourds et nécessitant une réelle maîtrise scientifique et technique, apportée au plus près des utilisateurs par des personnels dédiés exceptionnellement compétents et dévoués et souvent des équipes de recherche associées.

LES GRANDES QUESTIONS SCIENTIFIQUES ET GRANDS DÉFIS SOCIÉTAUX QUI NÉCESSITENT L'UTILISATION D'INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE

Les infrastructures proposées pour une inscription sur la feuille de route (figure 1) s'inscrivent en deux problématiques principales : celles qui sont fondées sur des approches génériques et technologiques (IR « génériques et technologiques ») et celles dont les activités s'inscrivent davantage dans le cadre de thématiques sociétales ou de champs d'application spécifiques (IR Objets).

Cette typologie se retrouve également au niveau européen.

Quelques problématiques scientifiques et enjeux sociétaux majeurs ont été identifiés et les infrastructures qui sont ou pourraient être mobilisées pour les aborder mises en regard. Certains éléments des stratégies et missions européennes et des stratégies d'accélération en cours de d'élaboration au niveau national ont été inclus sans souci d'exhaustivité. Les correspondances entre les infrastructures candidates pour une inscription sur la feuille de route et ces items scientifiques et/ou sociétaux sont reprises aussi finement que possible dans les tableaux 1 et 2.

Force est de constater qu'en pratique la typologie IR « génériques et technologiques » vs IR « Objet » n'est pas véritablement discriminante et que l'ensemble des infrastructures s'inscrit fortement simultanément dans les deux catégories. Mais la densité des correspondances illustre bien la capacité des infrastructures à aborder de manière complémentaire ces deux aspects et, en particulier, à contribuer à relever les défis sociétaux. Elle impose aussi sans aucun doute la nécessité d'en améliorer la visibilité et d'en assurer la promotion.

Deux aspects sont critiques pour répondre aux sujets sociétaux ainsi qu'aux grandes questions scientifiques : exploiter la complémentarité entre infrastructures et promouvoir leur agilité (c'est à dire leur capacité d'adaptation). Deux exemples illustrent cette dimension de complémentarité :

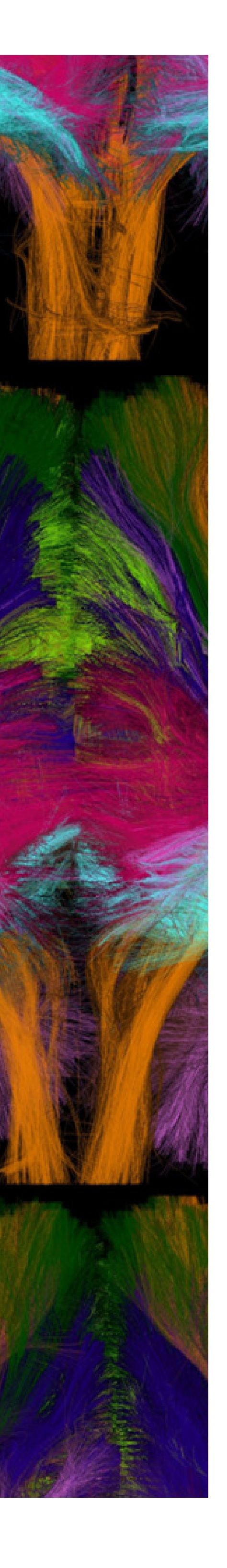
- plusieurs infrastructures couvrent la production des données à grande échelle (les omics) sur les systèmes vivants (données de biologie structurale, de protéomique, de séquençage, de métabolomique, d'imagerie…)



Figure 1 Infrastructures proposées pour une inscription sur la feuille de route 2021.
Les infrastructures sont classées en quatre ensembles qui représentent un continuum de la structure de la molécule à l'individu et aux populations humaines, et les correspondances avec les infrastructures inscrites sur la feuille de route ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures) sont indiquées à l'extérieur du cercle. Les infrastructures nationales candidates à une inscription sur les feuilles de route nationales ou ESFRI 2021 sont sur fond plus clair. Les cinq infrastructures nationales et E-BRAINS et EIRENE ont été retenues à l'issue du processus. Les étoiles désignent les ESFRI du domaine Santé et Alimentation pour lesquelles l'infrastructure française n'est que partiellement le nœud national (Instruct ERIC) ou dont la France n'est pas membre (Openscreen).

et seule leur intégration peut permettre une analyse fine et complète multi-échelle et multimodale du vivant.
La bioinformatique joue un rôle important dans cette intégration des données et dans leur curation. C'est par le croisement des techniques et leurs apports mutuels que les résultats les plus spectaculaires sont atteints. Le lien nécessaire entre plates-formes de type « omique », d'imagerie et la bioinformatique s'est d'ailleurs clairement renforcé, ainsi qu'en attestent plusieurs des projets Equipex+ récemment financés. Ces thématiques représentent un volet important du développement du numérique en biologie. Un effort considérable est déployé pour construire des approches similaires dans le domaine des données en santé avec leurs spécificités (données sensibles, contexte d'anonymisation et de recueil de consentement éclairé) et ouvre la voie à une médecine plus précise et personnalisée. L'exploitation de la complémentarité des deux approches biologique et médicale se met aussi progressivement en place ;

- des partages d'expériences entre le **laboratoire P4 Jean Mérieux** (laboratoire de haute sécurité dédiée à l'étude de ces agents hautement pathogènes) et **Emerg'In** (infrastructure pour étude des processus infectieux chez les animaux domestiques et la faune sauvage) sur l'infectiologie et la physiopathologie ainsi que la coordination entre ces deux IR au niveau national et européen contribuent à assurer à la France une place prépondérante sur le domaine des maladies infectieuses émergentes, particulièrement stratégique et sensible en santé publique et santé vétérinaire.



INFRASTRUCTURES INSCRITES SUR LA FEUILLE DE ROUTE 2018	ENJEUX SCIENTIFIQUES								
	Cellule unique	Bio-production et usine cellulaire Voies metaboliques	Traitement de l'info en biologie Cognition	IA	Populations, complexité sociale	intégration d'échelle : de l'infiniment petit à un niveau supérieur	Ressources et intégrité	Phénotypage très fins et phénotypage à très grande échelle	Variabilité intrinsèque dans les systèmes complexes, limite de la mesure
Exploration fonctionnelle									
ChemBioFrance	En partie	Non	Non	Oui	Non	En partie	Oui	En partie	Non
FBI	Oui	Non	En partie	En partie	Non	Oui	Non	En partie	En partie
FLI	Non	Non	Oui	En partie	En partie	Oui	En partie	En partie	Non
France Génomique	Oui	Oui	Non	En partie	Oui	Non	Oui	En partie	Non
FRISBI	Oui	En partie	Non	En partie	Non	Oui	Non	Non	Oui
MetaboHub	Oui	Oui	Non	Oui	En partie	Oui	Non	Oui	En partie
NEUROSPIN	Non	Non	Oui	En partie	En partie	En partie	Non	En partie	En partie
PROFI	Oui	En partie	Non	Oui	En partie	En partie	En partie	Non	Non
Organismes modèles et ressources									
Celphedia	Non	Non	Non	Non	Non	En partie	Oui	Oui	Oui
EMBRC France	Non	En partie	Non	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non
Emphasis France	Non	Non	Non	En partie	Non	En partie	Oui	Oui	Non
IBISBA France	Oui	Oui	Non	En partie	Non	Oui	Oui	En partie	Non
Ingestem	Oui	Oui	Non	Non	En partie	Non	Oui	Non	Oui
Du préclinique au clinique									
ECELL France	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	En partie
F-CRIN	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	En partie	Non	Non
Laboratoire P4 Jean Mérieux	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	En partie	Non
Emerg'in	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non
IDMIT	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non
NEURATRIS	Non	Non	Oui	Non	Oui	Non	En partie	En partie	Non
Bioinformatique, cohortes, bases de données									
CONSTANCES	Non	Non	En partie	En partie	Oui	Non	Oui	Non	Oui
IFB	Oui	Oui	Oui	Oui	En partie	Oui	Oui	En partie	En partie
CAD	Non	Non	Oui	Oui	En partie	Non	Oui	En partie	En partie
Nouvelles infrastructures potentielles									
CALIS	Non	Non	Oui	Non	Oui	En partie	Oui	En partie	Non
EBRAINS-FR	Non	Non	Oui	Oui	Non	En partie	Oui	En partie	Oui
France Cohortes	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non
FR Exposome	Non	En partie	Non	En partie	Oui	Non	Non	En partie	En partie
LiPh@SAS	Non	Non	Non	Non	Non	En partie	Oui	Oui	Non

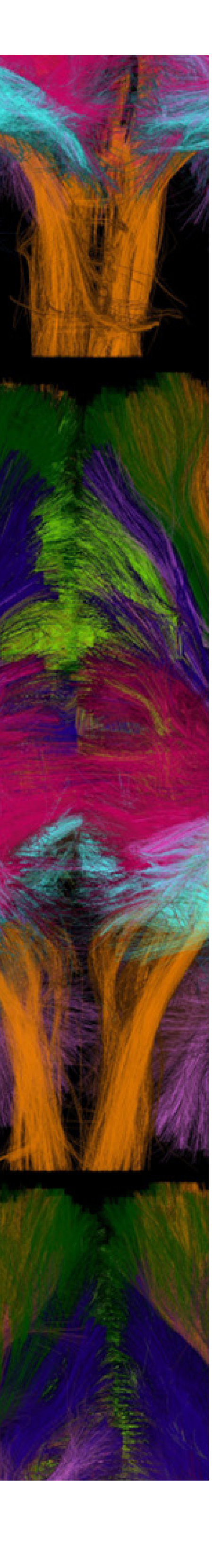
Tableau 1 Liens entre insfrastructures et quelques grandes problématiques scientifiques. Les fonds vert et vert clair correspondent respectivement à des liens forts ou moyens.

- Non
- En partie ou potentiellement
- Oui

INFRASTRUCTURES INSCRITES SUR LA FEUILLE DE ROUTE 2018	QUESTIONS SOCIÉTALES								
	Impact en bioéconomie	Interactions avec tissu industriel	Santé et qualité de la vie, alimentation	Maladies dégénératives	Cancer	Exposome chimique et toxicologie	Maladies infectieuses émergentes et réémergentes, antibiotiques	Santé globale	Santé digitale
Exploration fonctionnelle									
ChemBioFrance	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	En partie	Oui	Non	Non
FBI	Non	Oui	En partie	En partie	En partie	Non	Non	Non	Non
FLI	En partie	Oui	En partie	En partie	En partie	Non	Non	Non	Oui
France Génomique	Non	En partie	En partie	En partie	En partie	En partie	Non	Non	Non
FRISBI	Non	Oui	En partie	En partie	En partie	Non	En partie	Non	Non
MetaboHub	En partie	En partie	Oui	En partie	En partie	En partie	En partie	Non	Non
NEUROSPIN	Non	En partie	En partie	Oui	Non	Non	Non	Non	En partie
PROFI	Non	Oui	En partie	En partie	En partie	En partie	Non	Non	Non
Organismes modèles et ressources									
Celphedia	En partie	En partie	En partie	En partie	Non	Non	Non	En partie	En partie
EMBRC France	En partie	En partie	Non	Non	Non	Non	En partie	Non	Non
Emphasis France	Oui	En partie	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non
IBISBA France	Oui	En partie	En partie	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Ingestem	Oui	En partie	Oui	En partie	Non	Non	Non	Non	Non
Du préclinique au clinique									
ECELL France	Oui	En partie	Oui	En partie	Non	Non	Non	Non	Non
F-CRIN	Oui	En partie	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non	En partie
Laboratoire P4 Jean Mérieux	En partie	En partie	En partie	Non	Non	Non	Oui	Non	Non
Emerg'in	Oui	En partie	En partie	Non	Non	Non	Oui	Non	Non
IDMIT	En partie	En partie	En partie	En partie	En partie	Non	Non	Non	Non
NEURATRIS	En partie	En partie	En partie	En partie	Non	Non	Non	Non	Non
Bioinformatique, cohortes, bases de données									
CONSTANCES	En partie	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	En partie
IFB	En partie	En partie	Non	Non	Non	Non	Non	Non	En partie
CAD	Non	En partie	Non	En partie	En partie	Non	Non	Non	Non
Nouvelles infrastructures potentielles									
CALIS	Oui	En partie	Oui	Non	Non	Non	Non	En partie	Non
EBRAINS-FR	Non	En partie	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Non
France Cohortes	Non	En partie	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	En partie
FR Exposome	Non	En partie	Oui	En partie	En partie	Oui	Non	Oui	Non
LiPh@SAS	Oui	En partie	En partie	Non	Non	Non	Non	En partie	Non

Tableau 2 Liens entre insfrastructures et quelques grands enjeux sociétaux.
Les fonds vert et vert clair correspondent respectivement à des liens forts ou moyens.

Non
En partie ou potentiellement
Oui



Au niveau européen, cette complémentarité entre infrastructures peut aussi être illustrée par le développement rapide d'une alliance (Alliance of Medical Research Infrastructures (AMRI)) entre les trois ERIC impliqués dans la recherche médicale : **EATRIS** (médecine translationnelle), **BBMRI** (biobanques) et **ECRIN** (recherche clinique). En joignant leurs forces, les trois IR pan-européennes visent à faciliter l'accès des utilisateurs à leurs services et à soutenir le développement d'outils, de services et d'approches communs. Une telle réflexion serait sans aucun doute utile au niveau national.

Un seul exemple, la récente épidémie du Covid 19 peut suffire à illustrer la nécessaire agilité des IR en Biologie et Santé. En réponse à ce défi, la très grande majorité des IR de la feuille de route et singulièrement en Biologie et Santé se sont mobilisées, soit directement, soit à travers leur participation aux ESFRI, et ont, à la fois adapté leur offre aux nouvelles contraintes (travail à distance, formation adaptée des utilisateurs), priorisé l'accès aux équipes impliquées dans des recherches sur cette nouvelle pathologie, dégagé des moyens pour accompagner les équipes dans des réorientations méthodologiques ou thématiques (recours accru à la bioinformatique). Mais d'une manière plus générale, les IR du domaine doivent répondre au double changement d'échelle induit par le développement des équipements et des technologies du numérique : d'une part, l'accès aux très hautes définitions qui ouvrent des perspectives en biologie structurale aux confins de limite de la mesure et la variabilité intrinsèque de la mesure et d'autre part, l'accès aux données massives de différentes natures qui permettent d'approcher la complexité des populations.

L'un des points forts des infrastructures en « Biologie et Santé » est leur ouverture tant aux communautés scientifiques académiques qu'au secteur privé. Certaines de ces IR sont dédiées à ces recherches translationnelles en biotechnologie ou en bioproduction qui permettent de traiter des projets à niveaux de maturité technologique (TRL) élevés. Ces interactions et l'accès aux développements technologiques réalisés dans les infrastructures nationales en Biologie Santé sont essentiels pour garantir la compétitivité internationale de nos industries en Santé, Alimentation, Environnement et de nombreux autres secteurs.

Les infrastructures de recherche en sciences du vivant ont été inscrites pour la première fois en 2008 sur la feuille de route des infrastructures nationales dans le domaine Biologie et Santé. Mais la plupart des infrastructures ont pris leur véritable essor dans le cadre du programme des investissements d'avenir (PIA) et de l'action « Santé – Biotechnologies » à la suite de deux appels d'offre ouverts en 2010 et 2011. Ces appels ont permis de doter la France de 4 démonstrateurs pré-industriels et de 23 grandes infrastructures d'envergure nationale et très compétitives internationalement (INBS) et de les financer potentiellement jusqu'en 2020.

Suite à une évaluation à mi-parcours ce sont finalement 18 de ces infrastructures ainsi que trois nouvelles infrastructures (**IBISBA France**, **ChemBioFrance** et **Neurospin**) et un projet (**CAD**) qui ont constitué le cœur de la feuille de route 2018 dans le domaine Biologie et Santé.

L'accompagnement des INBS après l'évaluation à mi-parcours a eu un effet extrêmement positif sur la plupart des infrastructures, tant en termes de visibilité que de structuration et de satisfaction des utilisateurs.

Une référence explicite au positionnement européen et à la feuille de route ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures) figurait dans les appels à projets et il est très satisfaisant de voir que les infrastructures nationales représentent des nœuds très actifs des ESFRI et qu'elles bénéficient de plus en plus de cette articulation européenne (Figure 1).

POSITIONNEMENT DE CHAQUE INFRASTRUCTURE DANS LE PAYSAGE

Les infrastructures en « Biologie et Santé » présentées sont nombreuses et leur taille globale est très importante, tant en termes de mobilisation de moyens que de nombre d'utilisateurs[1].

Pour simplifier la lecture du paysage, les IR ont été catégorisées selon une organisation en quatre ensembles, qui représentent un continuum de la structure de la molécule à l'individu, et aux populations humaines[2] :

— les **IR analytiques et d'exploration fonctionnelle** qui regroupent les technologies permettant l'étude des différentes échelles du vivant (composants intra-cellulaires, cellules et tissus, organes, individus…) ;

— les **IR d'organismes modèles, ressources** qui proposent un ensemble de ressources biologiques nécessaires à l'étude du vivant et à la bio-production ;

— les **IR pré-cliniques et cliniques**, qui visent au transfert des stratégies élaborées en recherche fondamentale vers le soin ;

— les **IR traitant essentiellement des données et processus associés : bioinformatique, appuis aux cohortes et cohortes, e-infrastructures**.

Infrastructures analytiques et d'exploration fonctionnelle

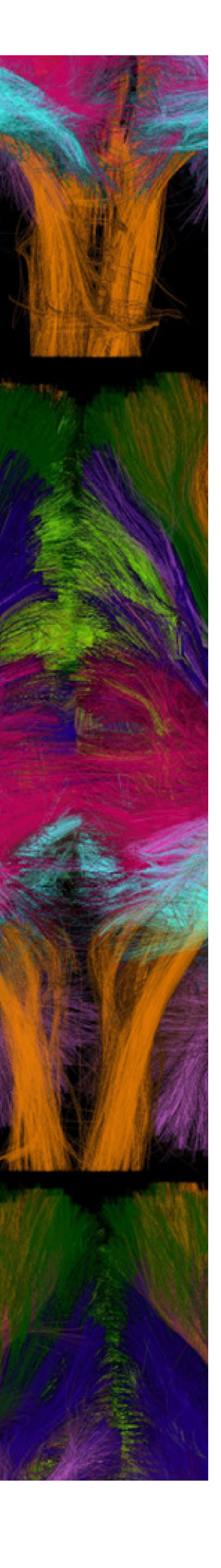
Un des buts ultimes de la biologie est d'étudier les différents niveaux d'organisation du vivant, de la molécule à l'individu, voire la population, pour comprendre les mécanismes régissant son fonctionnement et sa dynamique. Ces recherches nécessitent l'intégration d'un ensemble d'approches et d'échelles spatio-temporelles portées par les infrastructures en exploration fonctionnelle. Celles-ci développent des services et des innovations multi-modaux, basés sur des approches de plus en plus résolutives dans l'espace et le temps, à des débits toujours plus importants et pour des types d'échantillons biologiques de plus en plus variés, ce qui est permis par l'avancée des technologies notamment numériques. Ces approches s'accompagnent de services de traitement et de compréhension des données ainsi que des processus de « FAIRisation », permettant l'intégration des échelles pour la compréhension des phénomènes du vivant. L'intégration des données d'origines expérimentales et observationnelles diverses (structurales et fonctionnelles) est en effet un enjeu majeur pour étudier des phénomènes multi-échelle en biologie. Ces infrastructures dépendent donc largement du développement de la bioinformatique, ainsi que de services performants d'archivage et de traitement des données et de calculs.

Les approches structurales et d'imagerie sont développées dans **FRISBI** en biologie structurale intégrative, **FBI** en imagerie cellulaire, **NeuroSpin** (développant une IRM 11,7T pour l'homme, unique au monde, au service de la connaissance du cerveau) **et FLI** en imagerie *in vivo*.

Les approches « omiques » sont portées par des Infrastructures dédiées : **France Génomique** en génomique, **PROFI** en protéomique et **MétaboHUB** en métabolomique et fluxomique.

1 Environ 1500 ETP sont impliqués directement dans ces IR et l'évaluation finale des INBS a dégagé le besoin de recrutement d'environ 150 ETP pour assurer la pérennisation des INBS, dont près de cent ont été promis par les organismes. Plus de 20 000 utilisateurs nationaux ont été répertoriés par les IR de la feuille de route en 2017.

2 Les approches populationnelles des autres taxons étant traitées préférentiellement dans le domaine *Science du système Terre et environnement*.



Au-delà de leur excellence technologique, un de leurs objectifs partagés est de contribuer à l'intégration de leurs données. Un des enjeux majeurs actuels est de parvenir à établir des relations entre données d'imagerie, descriptions multi-omiques et phénotypiques, et les paramètres structuraux et morphologiques de systèmes dans un contexte normal ou pathologique. L'ensemble de ces approches participe à rendre plus efficace la recherche de molécules bioactives. C'est l'objectif de l'infrastructure **ChemBioFrance** qui développe des approches de screening haut débit, et de chémo-informatique et de biochimie de synthèse. Enfin, le monitoring à haut débit par toute une gamme d'approches analytiques d'échantillons variés de l'homme devrait permettre de caractériser plus finement l'exposome.

Infrastructures Organismes modèles et ressources

Les développements de la biologie moderne rendent nécessaire l'accès à des ressources biologiques référencées et qualifiées sur le plan sanitaire et génétique. Le référencement et la qualification sont des éléments essentiels pour contribuer à une politique de Science ouverte notamment pour l'accès à ces ressources, la transparence et la reproduction des résultats. Elles contribuent à garantir l'intégrité des travaux. Cette démarche nécessite en particulier le développement de technologies permettant le phénotypage profond et précis et/ou à haut débit. Les IR de ressources et modèles ont pour vocation de proposer ces ressources, de les créer le cas échéant notamment par les technologies d'édition du génome, d'assurer la reproduction et la conservation des lignées à statut sanitaire défini.

Certaines IR de cette section sont également dédiées à l'expérimentation innovante chez les organismes modèles impliquant des technologies d'exploration fonctionnelle ou de phénotypage. Le phénotypage des plantes cultivées à haut débit est développé par **Emphasis France** dans un cadre d'adaptation aux changements globaux, tandis que **Celphedia** assure la création, l'élevage, le phénotypage d'animaux modèles.

Ces ressources sont également dédiées à la bio production dont les technologies et les process relèvent d'IR dédiées, pour les cellules souches pluripotentes induites et les organoïdes (**Ingestem**), les organismes marins et les biotechnologies bleues (**EMBRC-France**), mais aussi potentiellement les espèces végétales (**Emphasis France**) et les biotechnologies blanches (**IBISBA-France**). Dans le cadre de ces entités plus tournées vers les processus, la caractérisation des ressources constitue également un enjeu majeur.

Finalement, elles incluent des développements technologiques qui permettent de dépasser la phase du « modèle » pour aller directement vers les espèces cibles à étudier (**Emphasis France**).

Infrastructures Précliniques et cliniques

Les recherches menées pour la santé des populations, essentiellement européennes, et au bénéfice des malades, nécessitent le développement de technologies et d'approches multiples aux interfaces entre approches expérimentales, ingénierie en biologie moléculaire et cellulaire, et compréhension des dynamiques des états de santé des individus et des populations. Adossées à des technologies et ressources offertes par des IR d'exploration fonctionnelle et des bio-ressources, ces IR en recherche préclinique et cliniques offrent des services, une expertise, un savoir-faire en développement de médicaments, qu'ils soient moléculaires, cellulaires ou géniques, ainsi que l'expertise médicale associée à la maîtrise des aspects réglementaires et des contrôles qualité requis. Elles permettent ainsi la confirmation des preuves de concept chez l'homme et l'engagement dans les voies d'investigation clinique.

L'expertise spécifique sur la bio-production en « cellules médicaments » est assurée par l'infrastructure **ECELLFrance** pour la production et qualification pré-clinique et clinique de cellules stromales mésenchymateuses (CSM), qui sont à la base de thérapies incontournables dans le traitement de maladies chroniques majeures en santé publique telles que le diabète, les maladies auto-immunes ou cardiovasculaires.

NeurATRIS est exclusivement dédiée aux quatre maladies neuro-dégénératives majeures et aux déficits neuro-développementaux. Elle offre des services et des recherches sur un ensemble de développements méthodologiques incluant les thérapies cellulaires, géniques, médicamenteuses, et l'évaluation fonctionnelle *in vivo*.

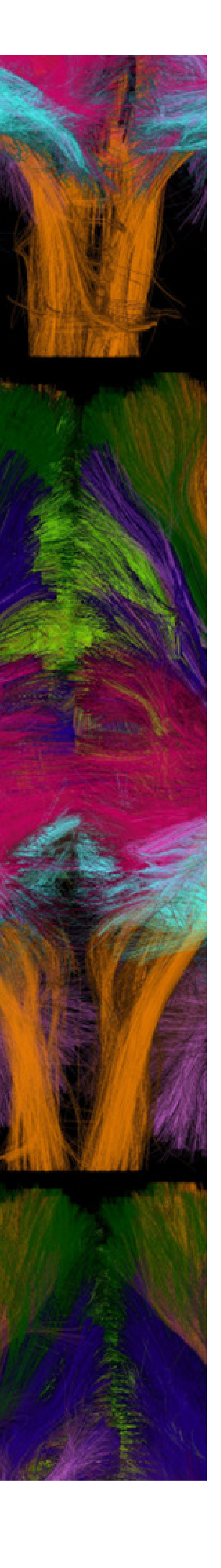
L'infrastructure **IDMIT** assure le développement de modèles *ad-hoc* de maladies humaines, notamment sur les primates non humains, et la recherche de nouvelles approches thérapeutiques en vaccinologie et immunothérapies contre différentes maladies infectieuses.

La recherche sur les maladies infectieuses émergentes nécessite, en raison de la dangerosité de certains agents pathogènes, un confinement en laboratoire de niveau de biosécurité 4, à la fois pour ce qui concerne la conservation des ressources et les approches expérimentales. Le **laboratoire P4 Jean Mérieux** est l'Infrastructure dédiée à l'étude de ces agents hautement pathogènes. L'étude des processus infectieux chez les animaux domestiques et la faune sauvage est assurée par l'infrastructure **Emerg'In**, qui offre des services expérimentaux et de conservation sur des agents pathogènes et leurs vecteurs le cas échéant. Le **laboratoire P4 Jean Mérieux** et **Emerg'In** partagent leur expérience.

Enfin, l'infrastructure **F-CRIN** occupe une place unique sur notre territoire en assurant la coordination des acteurs de la recherche clinique d'une part, et ceux du monde médical ou soignant et industriel d'autre part.

Infrastructures traitant essentiellement des données et processus associés : bio-informatique, appuis aux cohortes et cohortes, e-infrastructures de données

Comme indiqué en introduction, l'intégration des données de toute nature produites par des technologies toujours plus performantes constitue l'un des enjeux majeurs pour les sciences du vivant et leurs applications en santé, écologie, agronomie, bio-production. Cet enjeu nécessite la reconnaissance d'e-infrastructures dédiées pouvant à la fois porter des services de données et de ressources, mais aussi des innovations (nouvelles approches algorithmiques, digital twins…) dont l'impact peut dépasser les domaines concernés.
Ce domaine est particulièrement concerné par la problématique de la science ouverte et la FAIRisation des données, qui permettent d'accroître l'usage des données et améliorer la reproductibilité des résultats, amplifiant ainsi l'impact potentiel des recherches en réponse aux enjeux économiques et sociétaux.
On assiste ainsi dans chacune des IR du domaine Biologie et Santé à la création et au développement de composantes numériques d'amont (le pipeline d'acquisition des données), des processus d'organisation, de caractérisation et d'accès aux données (PGD) et des services d'aval pour le traitement avancé des données. Selon les contraintes éthiques et réglementaires (posées, par exemple, par les données de santé), les modalités d'accès sont aussi ouvertes que possible, et aussi fermées que nécessaire.
En effet, les IR dédiées à la collecte, l'archivage et l'analyse des données individuelles et des états de santé des individus et des populations humaines (**CAD**, cohortes…) doivent à la fois ouvrir des services aux chercheurs, rendre accessibles leurs données mais également maintenir un niveau de protection correspondant aux attentes des citoyens.



La fourniture de services et de développements méthodologiques pour l'analyse de données « omiques », d'imagerie et de structure, à une large communauté d'utilisateurs est largement assurée par l'**IFB**. Grâce au financement obtenu pour le projet MuDiS4LS-IFB (dans le cadre de l'appel à projets ESR/Equipex+), cette IR va étendre son offre de services en termes de données (plan de gestion des données (PGD), portail d'entrepôt, référencement, accessibilité…) structurant ainsi avec l'IR **Data Terra** le paysage des indispensables e-infrastructures d'envergure nationale ayant vocation à conforter la France dans un contexte européen (EOSC) très compétitif.

Le projet **France Cohortes** dont l'objectif est d'être une plateforme nationale de services aux cohortes s'inscrit aussi dans cette stratégie de support transverse (recueil, hébergement, traitement et mise à disposition des données, soutien réglementaire et administratif…).

L'étude des relations entre des données de diverses sources (santé, facteurs comportementaux, sociaux et environnementaux, y compris les conditions de travail, données biologiques et génétiques…) et différentes conditions de santé sont assurées par **CONSTANCES**, une très large cohorte épidémiologique en population générale (au global plusieurs centaines de sujets). **CONSTANCES** contribue au suivi du système de santé publique en France et à l'étude de la distribution des principaux déterminants de santé en population générale. Elle est en support de la recherche et santé et des autorités de santé publique.

Enfin, au cœur du plan France Médecine Génomique, l'infrastructure **CAD** assure le rôle de centre national d'hébergement et d'analyse des données génomiques issues du plan, et vise à améliorer les connaissances des pathologies (maladies rares, cancer…) et à développer des approches diagnostiques ou thérapeutiques innovantes, en premier lieu en médecine génomique (à travers la mise à disposition de données, d'outils et d'algorithmes, qu'elle peut aussi permettre de développer).

Interfaces avec les autres domaines de la FdR nationale

Les questions de recherche en « Biologie et Santé » sont, pour la plupart d'entre elles, inter-ou transdisciplinaires.
Ainsi plusieurs infrastructures sont inscrites à l'interface entre deux domaines de la feuille de route nationale. Notons que cette tendance à l'inter-sectorialité se manifeste aussi au niveau européen : sur les huit projets récemment soumis à l'ESFRI dans le secteur Santé Alimentation, six sont en double évaluation – deux en DIGIT (Data, Computing and Digital Research Infrastructures), un en ENV (Environment), deux en PSE (Physical Sciences and Engineering) – et un est en triple évaluation – ENV (Environment) et SCI (Social and Cultural Innovation).

Infrastructures à l'interface avec le domaine Système Terre et Environnement

Pour la recherche aux interfaces entre les milieux physiques et le vivant, certaines infrastructures sont partagées avec le domaine Système Terre et Environnement.

- Dédiée au phénotypage des plantes et espèces modèles, l'IR **Phenome-Emphasis-France** complète, pour les agronomes et les écologues, des plateformes « omiques », comme l'IR **MetaboHUB** et l'IR **France Génomique**.
- Deux autres IR sont d'un grand intérêt pour les sciences de l'environnement : **IBISBA France** qui se positionne entre les domaines environnement/énergie/biologie-santé. Son centre de gravité est la biologie de synthèse et les biotechnologies mais avec des applications dans différents domaines comme la valorisation des déchets (*bio contrôle, traitement de déchets*

en économie circulaire, valorisation de la biomasse) et **EMBRC France** pour les ressources biologiques marines.

Par ailleurs, notons que **RARe**, qui s'intéresse aux ressources génétiques canines et microbiennes (consortia représentant des microbiomes), présente un intérêt pour le domaine biomédical et la santé.

Infrastructure à l'interface avec le domaine Énergie

IBISBA-France rejoint les préoccupations du domaine Énergie pour la bio-production d'énergie carbonée et l'usage des biotechnologies en économie circulaire du carbone.

Interface avec la Chimie et la Physique

Le développement de nouvelles approches, aussi bien technologiques que numériques en biologie, a révolutionné les approches du vivant et a largement contribué au développement des nouvelles connaissances sur son fonctionnement, de l'échelle atomique à l'échelle de l'organisme sans discontinuité et dans leur état natif. Ces approches constituent de véritables ponts entre physiciens, chimistes, spécialistes du numérique et biologistes pour développer de nouveaux concepts et permettant en retour l'amélioration de l'instrumentation. C'est ainsi que des approches aussi variées que l'analyse des données massives, les approches de modélisation multi-échelle, le criblage à haut débit et la chemo-informatique sont devenues essentielles pour la biologie moderne. Dans cette perspective, les relations entre des infrastructures comme **FRISBI** et **FBI** avec **SOLEIL** et **METSA,** pour ne donner qu'un exemple, doivent aller en s'amplifiant dans les années à venir, pour permettre à une communauté aussi large que possible d'aborder les questions fondamentales que posent les sciences du vivant aujourd'hui.

Impact sur l'éducation et la formation/ Retombées socio-économiques

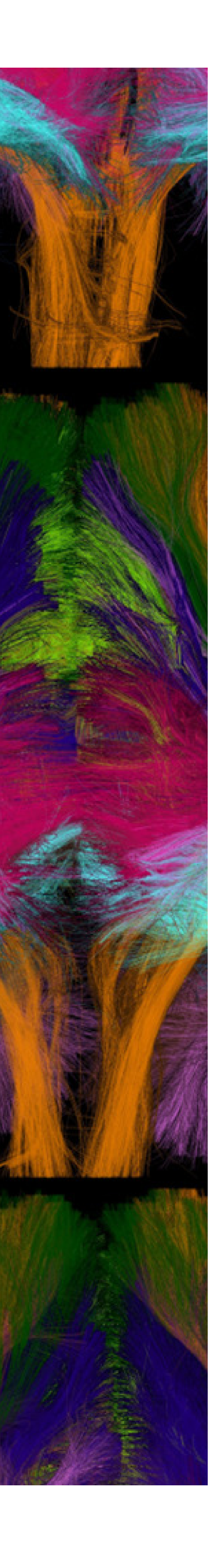
L'ensemble de ces aspects a été abordé lors de l'évaluation récente des IR financées dans le cadre du PIA. La formation des utilisateurs mais aussi des ingénieurs du domaine (y compris, bien évidemment, ceux qui ne sont pas directement impliqués dans les IR) contribue à une meilleure utilisation des équipements existants et permet d'assurer une veille scientifique et technique pour tous. L'analyse des retombées économiques se lit à la fois à travers la volonté de trouver et d'accueillir de nouveaux utilisateurs venant de l'industrie à même de contribuer à l'équilibre financier des IR et d'établir des partenariats pour les développements instrumentaux. Les mobilités des acteurs entre IR et partenaires privés sont des éléments importants de diffusion des technologies et des savoir-faire pour un enrichissement réciproque.

Impact sur les politiques publiques

La crise actuelle liée au COVID 19 a naturellement mobilisé plusieurs des infrastructures de la feuille de route en Biologie Santé et leur rôle ainsi que leur impact dans la définition des politiques publiques doivent être soulignés. Mais au-delà, l'impact de **CALIS** (santé/alimentation), du **CAD** (médecine génomique), du soutien de **France Cohortes** aux cohortes plus spécialisées/thématisées, du réseau **F-CRIN**, sans oublier, bien évidemment **CONSTANCES**, sont centraux dans la question de l'impact sur les politiques publiques. L'implication et l'intérêt d'autres ministères ou agences dans certaines infrastructures ou projets sont d'ailleurs de plus en plus manifestes.

Science ouverte

La dimension Science ouverte des infrastructures dans le domaine Biologie et Santé a été analysée selon les cinq axes d'analyse proposés par



le groupe de travail transverse (Stratégie de science ouverte, Acteurs de la gouvernance des données, Maturité de la pratique des données, Politique d'ouverture des codes et logiciels, Politique d'ouverture des publications). Une offre de service très étendue est apportée aux utilisateurs et les infrastructures bénéficient très souvent des services d'infrastructures numériques support (**IFB**, plus marginalement **Data Terra**…).

La démarche de science ouverte est largement prise en compte (avec des pratiques avancées sur le code, les données et/ou les publications), mais reste émergente et globalement à généraliser. Elle s'inscrit encore trop rarement dans une stratégie globale.

La proposition du recours systématique à un identifiant des institutions et agences de financement (Funder registry) semble une piste intéressante à explorer pour identifier le rôle des infrastructures tant dans la diffusion des données et des codes que des publications.

Des ensembles d'infrastructures en Biologie et Santé rencontrent des problèmes communs pour mettre en place une politique solide de Science ouverte : composante réglementaire importante pour les infrastructures générant ou exploitant des données sensibles (données de santé, données personnelles…), qualification des échantillons (pour les infrastructures de ressources biologiques), problématique des échelles multiples de résolution et de multimodularité (omics). Il serait opportun de définir les pratiques/standards de description communs à des clusters d'infrastructures. Cet effort doit s'inscrire dans une perspective plus globale et a souvent été initié au niveau des ESFRI (Elixir, Alliance of Medical Research Infrastructures (AMRI) qui regroupent **EATRIS**, **BBMRI** et **ECRIN**, EOSC life…).

L'existence d'un Comité utilisateur représente un élément important pour renforcer la démarche de science ouverte. Sur les vingt-deux infrastructures de la version 2018 de la feuille de route dans le domaine Biologie et Santé, huit disposent de manière totalement opérationnelle de cet outil de dialogue et huit en ont entrepris la mise en place.

STRATÉGIE : MANQUES POTENTIELS À COMBLER ET ORIENTATIONS POUR LES 5 PROCHAINES ANNÉES

Plusieurs besoins transverses sont partagés par certaines des infrastructures de la feuille de route : approche sur cellule unique ou l'ingénierie moléculaire et cellulaire (qui permet désormais de produire des entités biologiques (plantes, animaux, organoïdes) définis à dessein pour la création de génotypes et leur exploration fonctionnelle) sans qu'ils puissent être efficacement satisfaits par de nouvelles infrastructures ou même le doivent. Il devient nécessaire et urgent d'établir des structures d'échange transverses au niveau national sur ces questions, par exemple à travers le soutien à des initiatives de type Groupement de Recherche ou Écoles thématiques. Visibilité et agilité des IR sont à nouveaux centrales pour faciliter l'essor de ces techniques. Le rôle moteur d'IBISA et d'Aviesan est à souligner.

Le modèle de partage de connaissances, des bonnes pratiques et de la prise en compte des composantes éthiques et réglementaires que développe **France Cohortes** pourrait aussi être transposable pour aborder efficacement ces préoccupations communes.

Mais certains des besoins des communautés de la recherche ne pourront être pris en compte que par la création de nouvelles infrastructures nationales. La montée en régime des projets dans le domaine traduit bien cette très forte dynamique.

Nouvelles infrastructures proposées pour une entrée sur la feuille de route

Cinq nouvelles infrastructures de recherche sont proposées pour une inscription sur la feuille de route 2021 :

- le projet **CALIS** (Consommateur/Alimentation/Santé) vise à coordonner les principales plateformes impliquées dans le domaine de la nutrition humaine. L'infrastructure est articulée autour de trois pôles : un pôle consommateur (traitement et gestion de données relatives aux comportements des consommateurs), un pôle aliments (qualité des aliments et caractérisation structurale et fonctionnelle des composantes et des aliments), et enfin un pôle santé (rôle du microbiote, caractérisation des propriétés nutritionnelles des aliments et de leurs impacts sur la santé chez l'Homme). L'exploration fonctionnelle de la nutrition chez l'homme permettra un dialogue indispensable au développement d'innovations dans un cadre de l'alimentation durable pour la santé. La gouvernance est organisée pour apporter une valeur ajoutée à chaque étape du développement de solutions technologiques pour la chaîne alimentaire et/ou de politiques publiques. La science de la consommation alimentaire pourra ainsi bénéficier pleinement des progrès technologiques dans un domaine stratégique pour la France dans le contexte européen. **CALIS** est impliquée dans le projet d'infrastructure ESFRI **Food Nutrition and Health-RI** ;
- **France Cohortes**, plateforme nationale, est un projet d'infrastructure de technologies numériques et informatiques au service des cohortes. Elle est dotée d'outils permettant de garantir la sécurité, la traçabilité des traitements et d'éviter la dissémination des données ainsi que de documenter la conformité RGPD de façon centralisée. Les principaux utilisateurs sont les cohortes nationales bien implantées dans le paysage de la recherche en santé publique. La solution d'hébergement et de mise à disposition des données est organisée dans un environnement sécurisé conforme au référentiel de sécurité du système national des données de santé (SNDS) ;
- **LiPh@SAS** (Livestock Phenotyping for Sustainable Agro ecoSystems) est une infrastructure de phénotypage des animaux de production (bovins, porcins, poissons) dans un contexte d'adaptation de l'élevage aux changements globaux et la demande sociétale pour un élevage respectueux du bien-être animal et de l'environnement. Cette IR est particulièrement ouverte aux équipes académiques européennes puisque la France est coordinatrice des trois infrastructures européennes dans le domaine (soutenues dans les appels INFRAIA). Elle développe des technologies contribuant en particulier aux approches 3R, afin d'offrir un accès à des lignées originales d'animaux pour le phénotypage horizontal ou vertical et la caractérisation des ressources génétiques dans des condition d'élevage adaptées aux nouvelles exigences en systèmes agro-écologiques durables ;
- **EBRAINS-FR** est le nœud français du projet d'infrastructure ESFRI **EBRAINS** porté par la France. Le projet est l'expression de l'évolution de certaines technologies dans la mesure où cette IR combine des services d'accessibilité à des données de références (atlas, bases de données d'image), de calcul intensif et d'innovation algorithmique et en processus neuro morphique. **EBRAINS** vise à modéliser le cerveau humain, avec des retombées dans différents



domaines tels que la neurobiologie, la médecine et en parallèle les sciences computationnelles et l'algorithmique. **EBRAINS-FR** comprend un ensemble de plateformes numériques dédié à l'analyse et au traitement des grands jeux de données complexes sur le cerveau permettant l'élaboration des modèles et des simulations des fonctions cérébrales. Elle est donc transverse avec plusieurs autres IR centrées sur l'acquisition des données. C'est un nouvel exemple de la nécessité d'exploiter la complémentarité des infrastructures d'un domaine scientifique donné, ne serait-ce qu'en formalisant une mise en réseau. Le projet **EBRAINS-FR**, inscrit principalement en Biologie et Santé, est aussi relié très directement au domaine des Sciences du Numérique et Mathématiques ;

- le projet **FR Exposome** d'infrastructure d'analyse de l'exposome chimique humain s'inscrit à la fois dans le cadre du plan Plan National Santé Environnement et du projet européen Human Monitoring for Europe HBM4EU, initiative dans laquelle la France joue un rôle majeur en particulier sur les nouvelles technologies, ainsi que du projet d'infrastructure ESFRI **EIRENE-RI** (Research Infrastructure for EnvIRonmental Exposure assessmeNt in Europe), déposé par la République Tchèque, inscrit sur la feuille de route ESFRI 2021. La création de l'infrastructure nationale vise à conforter la position française en organisant dans un premier temps une offre pour le biomonitoring humain des contaminants chimiques et un accès à des plateformes techniques dans ce domaine. Le projet est engagé dans une phase de consolidation active. Des échanges sont engagés entre acteurs et tutelles concernées afin de bien clarifier les positionnements respectifs de **MetaboHUB** et de **FR Exposome**, mais d'une manière générale, la prise en compte des questions d'exposition environnementale au niveau national, sous une forme ou sous une autre, sera nécessaire pour que la France puisse jouer à plein son rôle dans la construction d'EIRENE. Il convient de lancer une vraie dynamique et construire des synergies pour une approche inclusive ;
- ESFRI, dans son communiqué de presse sur l'inclusion des nouvelles infrastructures de recherche dans sa feuille de route 2021 a tenu à souligner que le projet **EIRENE** (au développement duquel **FR Exposome** devrait être associé) s'inscrit dans la priorité clé Health au niveau européen et que **EBRAINS** (dont **EBRAINS-FR** devrait être le nœud français) s'inscrit dans les deux priorités Digital Transition et Health.

Renforcement et pérennité des infrastructures nationales

Il est crucial de continuer à favoriser l'évolution des infrastructures nationales pour leur permettre de s'adapter aux nouveaux besoins des utilisateurs, d'atteindre de nouvelles communautés, et donc de leur permettre de développer et/ou de mettre à disposition de nouvelles technologies et des approches scientifiques qui apporteront des avantages supplémentaires à la communauté des utilisateurs.

La pérennisation des infrastructures de recherche nécessite une bonne adaptation à la fin du programme d'investissement d'avenir « Infrastructures Nationales en Biologie et Santé ». La plupart des infrastructures créées par le PIA ont été évaluées favorablement par le Comité de Pilotage de l'Action Santé et Biotechnologies s'appuyant sur les avis d'un jury international. Cette évaluation a permis de conforter l'appui des tutelles et la prise en compte de la nécessité pour les infrastructures de développer leurs modèles économiques. Un financement

complémentaire de l'ordre de 75 millions d'euros (pour la période 2021-2025) a pu leur être ensuite apporté.

Le rôle des infrastructures en Biologie – Santé, reconnu il y dix ans maintenant, s'est montré central dans de nombreux volets des politiques nationales et dans la montée en puissance de nombreux domaines scientifiques. La France doit savoir les maintenir au meilleur niveau et ne pas prendre le risque de ne plus être dans la compétition internationale et de perdre son pouvoir d'attractivité, rétabli grâce aux actions menées ces dix dernières années.



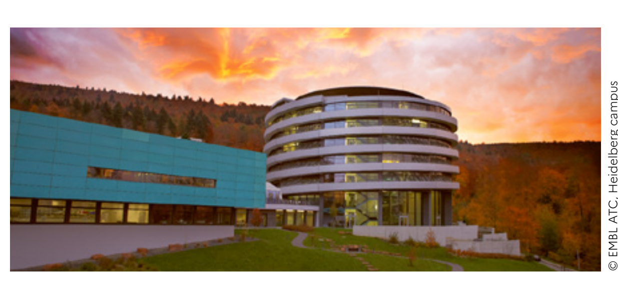
EMBL

Laboratoire Européen de Biologie Moléculaire/European Molecular Biology Laboratory

L'EMBL est l'un des grands centres d'excellence de la recherche fondamentale en biologie dans le monde. L'engagement à long terme de ses 27 États membres lui permet d'intégrer et de coordonner des activités scientifiques à l'échelle européenne. L'EMBL est réparti, outre le siège situé à Heidelberg et ses laboratoires de recherche, sur cinq sites couvrant des domaines spécifiques de la biologie : biologie structurale à Hambourg et Grenoble, bioinformatique à Hinxton, neurobiologie et épigénétique à Rome et biologie tissulaire et modélisation des maladies à Barcelone.

Une centaine d'excellents jeunes scientifiques sont sélectionnés comme chefs d'équipes de recherche et de service (5 à 9 ans).

L'EMBL permet aux scientifiques d'accéder à des services scientifiques essentiels (très grandes bases de données biologiques, installations synchrotron, d'imagerie et d'expérimentation avancées).



L'aspect formation à l'EMBL est vaste : programme de doctorat en sciences de la vie (250 étudiants issus de plus de 40 pays), accueil de post-doctorants, programme ARISE (Career Accelerator for Research Infrastructure Scientists), séjours de courte durée et un vaste portefeuille de cours et conférences très réputés.

Dans le cadre de son prochain programme, Molecules to Ecosystems (2022-2026), l'EMBL souhaite développer de nouveaux domaines de recherche, notamment la biologie planétaire, les écosystèmes microbiens, les écosystèmes humains et la biologie des infections.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

L'EMBL s'attache à valoriser et disséminer son savoir auprès de l'industrie. Son partenaire exclusif pour le transfert technologique (la GmbH EMBLEM -EMBL Enterprise Management Technology Transfer-) gère un portefeuille de plus de 250 brevets et copyrights (innovations technologiques, développements de programmes, bases de données). L'un des objectifs est le développement des inventions et des technologies jusqu'à maturité commerciale.

Science ouverte et données

- Tous les résultats de la recherche (articles de recherche, données, logiciels, conceptions matérielles, réactifs, protocoles et autres produits similaires) doivent être mis à la disposition du public sans délai.
- Production annuelle de données : 10 à 15 Po
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application.

Catégorie : OSI

Type d'infrastructure : Distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure : Heidelberg (Allemagne)

Localisation des autres sites : Grenoble (France), Hambourg (Allemagne), Barcelone (Espagne), Monterotondo (Italie), Hinxton (Royaume-Uni)

Établissement(s) français porteur(s) : MESRI

Année de création : 1974

Année d'exploitation : 1974

Contact en France : Anne Paoletti, anne.paoletti@recherche.gouv.fr ; Elena Hoffert, elena.hoffert@recherche.gouv.fr

Site web : www.embl.fr

Dimension internationale

Acronyme de l'infrastructure européenne/internationale : EMBL

Responsable : Edith Heard

Pays partenaires : AT, DK, FR, DE, IL, IS, IT, NL, SE, CH, UK, FI, GR, NO, ES, BE, PT, IE, HR, LU, CZ, MT, HU, SK, ME, PL, LT ; AU (pays associé) ; EE (pays prospect) ; LV (pays prospect)

Site internet : www.embl.org



CALIS

Infrastructure Nationale de Recherche Consommateur-ALIment-Santé

L'infrastructure de recherche Consommateur-ALIment-Santé (CALIS) est fondée sur le regroupement et la coordination nationale de plateformes labellisées et dispositifs expérimentaux qui fonctionnent depuis de nombreuses années. Ces entités sont organisées en 3 pôles pour une meilleure lisibilité et une gouvernance plus efficace : (i) le Pôle « Aliments » dédié à la conception et la caractérisation des aliments, (ii) le Pôle « Consommateur » spécialisé dans l'étude des choix alimentaires et des comportements de consommation, (iii) le Pôle « Santé » qui se consacre aux répercussions de l'alimentation sur la physiologie et la santé de l'Homme (intégrant son microbiote). CALIS offre des services aux communautés scientifiques publiques comme privées, fondés sur des développements technologiques, la mise à disposition de données et de supports expérimentaux ou encore des actions de formation. L'intérêt stratégique de regrouper ces entités en une infrastructure distribuée est de pouvoir aborder les questions de recherche sur l'alimentation durable pour la santé de façon multidisciplinaire en intégrant toute la chaine de valeurs depuis les matières premières agricoles et leur transformation en aliments jusqu'à l'effet sur la santé de l'Homme, en passant par les choix et préférences des consommateurs. CALIS regroupe ainsi quatorze plateformes ou dispositifs expérimentaux répartis sur tout le territoire métropolitain, ce qui représente un collectif de 189 ETP.



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

L'infrastructure de recherche CALIS développe une très forte activité d'accompagnement des industriels. Les entités de CALIS signent environ 160 contrats chaque année majoritairement avec l'industrie agro-alimentaire mais aussi pharmaceutique. Au cours des dernières années, les entités de CALIS ont déposé 30 brevets, conçu 7 logiciels et sont à l'origine de la création de 3 start-ups (Enterome, Maat Pharma et Novobiome).

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://forgemia.inra.fr
- Production annuelle de données : 200 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Rennes

Localisation des autres sites (en France) : Clermont-Ferrand, Dijon, Grenoble, Ivry-sur-Seine, Montpellier, Nantes, Paris 13e, Pierre-Bénite, Rennes, Saint-Genès-Champanelle

Établissement(s) français porteur(s) : INRAE

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Didier Dupont

Année de création : 2020

Année d'exploitation : 2020

Tutelles/Partenaires : Inserm, Anses, Universités : Paris-Saclay, UCA, Claude Bernard - Lyon 1, Sorbonne Paris Nord, UJM, Université de Paris, UGA, Université de Nantes, Sorbonne U, UBFC, Université de Montpellier, CNAM, AgroParisTech, Institut Agro, AP-HP, CHUs de Saint-Étienne, de Grenoble-Alpes, de Nantes, de Clermont-Ferrand, HCL.

Contact en France : Didier Dupont

Site web : www.inrae.fr/calis

Dimension internationale

Projet FNH-RI

Responsable : K. L. Zimmermann

Pays partenaires : NL, IT, BE, IE, SK, BG, MK, ES, PT, SI, RS, ME, HU, DK, UK, IS, NO, SE, FI, CA, DE, GR, CZ, PL

Site internet : https://fnhri.eu



Celphedia

Infrastructure Nationale pour la création, l'élevage, le phénotypage, la distribution et l'archivage d'organismes modèles

Les organismes modèles sont essentiels pour la recherche fondamentale et pour les progrès vétérinaire et biomédical. Ils sont incontournables quand il s'agit de comprendre la physiologie intégrative ou l'expression d'un caractère génétique. En effet ces processus biologiques résultent de l'interaction du génome avec son environnement. La mesure du phénotype clinique nécessite l'utilisation de ressources certifiées, de méthodes validées, robustes, standardisées, et d'un design d'étude garantissant la puissance statistique et la reproductibilité des résultats. Cette démarche répond à l'éthique de la recherche animale, exprimée dans la règle des 3'R, avec la réduction du nombre d'animaux, le raffinement des tests, et ne pourra se faire que lorsque toutes les études alternatives ont été faites, en choisissant aussi l'organisme modèle en fonction de la question scientifique posée.

CELPHEDIA a défini 5 objectifs stratégiques, garant de progrès de rupture dans la recherche animale


© composite

et d'une meilleure reproductibilité des données 1) par la qualité des ressources matérielles, 2) par la maîtrise de l'environnement, de l'exposome, pour la compréhension du phénotype, en particulier lors du vieillissement, 3) par des méthodes expérimentales qualifiées et robustes, cross-validées entre centres, 4) par la nécessaire maîtrise des transitions multi-échelles 5) et par la mise à disposition de l'ensemble des modèles, données de phénotypage, à la communauté scientifique et la formation.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

CELPHEDIA entretient des relations spécifiques avec le monde socio-économique, avec plus de 60 fournisseurs audités, dont plus des deux tiers sont en France. Il contribue au développement de soixante-trois biotechs, start-up et sociétés de service dans le domaine de la recherche animale. CELPHEDIA a établi des accords de coopération et des alliances stratégiques avec une dizaine de groupes industriels.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 200 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.mousephenotype.org

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure) : Illkirch-Graffenstaden
Localisation des autres sites (en France) : Clermont-Ferrand, Gif-sur-Yvette, Lyon, Marseille, Nantes, Niederhausbergen, Orléans, Paris, Rousset, Strasbourg, Toulouse
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Yann Herault
Année de création : 2008
Année d'exploitation : 2008
Tutelles/Partenaires : Institut national de la santé et de la recherche médicale, Université de Strasbourg, ENS de Lyon, Université Claude Bernard – Lyon 1, Université Toulouse III – Paul Sabatier, ENVT, AMU, Inrae, Université Paris-Saclay, Université de Nantes
Contact en France : Yann Herault
Site web : www.celphedia.eu

Dimension internationale

INFRAFRONTIER, ESFRI landmark
Responsable : Martin Hrabé de Angelis et Daniel Lahne

Pays partenaires : DE, FR, CZ, GR, FI, SE
Site internet : www.infrafrontier.eu



ChemBioFrance

Plateforme de découverte de molécules bioactives pour comprendre et soigner le vivant

ChembioFrance a pour mission la découverte de petites molécules pour comprendre et soigner le vivant. Spécifiquement, il s'agit d'offrir aux laboratoires académiques des ressources (molécules, logiciels, lignées cellulaires…) et instruments (plateaux techniques) d'identification de petites molécules bioactives destinées à comprendre le vivant, et ainsi de développer des outils de diagnostic et de traitement dans les domaines de la santé et de l'environnement. ChembioFrance a besoin d'intégrer en une seule infrastructure de recherche :

– i) la Chimiothèque Nationale de 60 000 composés et 15 000 extraits ;
– ii) un réseau de 21 plateformes de criblage distribuées sur le territoire ;


© Philippe Jauffret membre de ChemBioFrance

– iii) une plateforme de chémoinformatique distribuant des logiciels de physicochimie, modélisation et criblage virtuel ;
– iv) un réseau de plateformes d'études précliniques en ADME et Toxicologie.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

ChemBioFrance offre des prestations de services à des porteurs de projet académiques et privés pour le développement de molécules. 165 prestations en ADME par an, 180 prestations de criblage par an. 50 brevets licenciés à des compagnies, 10 contrats industriels en 2019, 350 publications et 60 conférences données par les membres de ChemBioFrance en 2018-2020.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/JordiMa/L-G-Chimio
- Production annuelle de données : 10 To

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Illkirch-Graffenstaden, Montpellier
Localisation des autres sites (en France) : Gif-sur-Yvette, Grenoble, Illkirch-Graffenstaden, Lille, Marseille, Montpellier, Paris, Roscoff, Toulouse
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

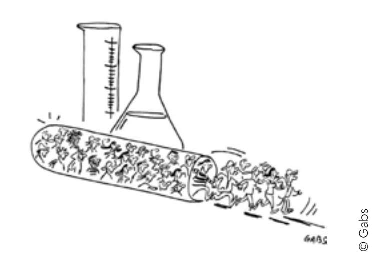
Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Jean-Luc Galzi
Année de création : 2018
Année d'exploitation : 2018
Tutelles/Partenaires : CNRS, CEA, Inserm, INRA, Institut Pasteur, Institut Curie, MNHN, INSA Lyon, Rouen, Rennes, Universités Strasbourg, Haute Alsace, Paris Sud, Paris V, Orléans, Caen, Lyon1, Grenoble, Reims, Nantes, Aix-Marseille, Clermont Ferrand, Versailles, Rouen, Toulouse III, Amiens, le Mans, Nice, Bordeaux, Mulhouse, Lille, de Lorraine, Tours, Montpellier, Paris Est, Sorbonne, Toulon ; Écoles d'ingénieur de chimie Lyon, Montpellier, Rennes, Centrale Marseille, SIGMA Clermont, l'École supérieure de physique et de chimie industrielle de Paris.
Contact en France : contact@chembiofrance.org
Site web : www.chembiofrance.fr



CONSTANCES

Cohorte des consultants des Centres d'examens de santé

Constances est une cohorte épidémiologique de 220 000 sujets représentative de la population âgée de 18 à 69 ans. L'inclusion a lieu dans des Centres d'examen de santé dans 21 départements, comprenant un examen de santé, la constitution d'une biobanque et des questionnaires (santé, mode de vie, facteurs socio-professionnels). Le suivi est actif (autoquestionnaire annuel, examen tous les 4-5 ans), et passif par appariement annuel avec les bases de données du SNDS et de la Cnav. Les principales données recueillies concernent la santé, le recours aux soins, des paramètres biologiques et physiologiques, une biobanque, les caractéristiques sociodémographiques, les facteurs professionnels. Une cohorte témoin de plus de 400 000 personnes est suivie dans les bases de données nationales pour permettre le redressement des estimations de prévalence en population générale. C'est une infrastructure « immatérielle » dont la mission consiste essentiellement à recueillir de façon


© Gabs

prospective des données individuelles des participants à de multiples sources. Par l'intermédiaire d'appels à projets, la base de données de la cohorte est ouverte à la communauté de recherche française et internationale, et une centaine de projets ont été validés par le Conseil scientifique international de Constances. Constances est la plus importante cohorte française, et participe à plusieurs consortiums nationaux et européens.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Nous avons des contrats avec des industriels du médicament et du bien-être. Concernant l'impact socioéconomique, l'IR est utilisée par les ministères et les agences sanitaires grâce à la fourniture de données sur la santé de la population française : CESE, Ministère de la santé, Ministère du travail, Mission interministérielle de lutte contre les drogues et les conduites addictives, Mildeca.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 2 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : monosite

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Villejuif

Établissement(s) français porteur(s) : Université Paris-Saclay

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Marie Zins

Année de création : 2011

Année d'exploitation : 2013

Tutelles/Partenaires : Université de Paris, CNAV, UVSQ, CNAM, INSERM

Contact en France : Marie Zins

Site web : www.constances.fr



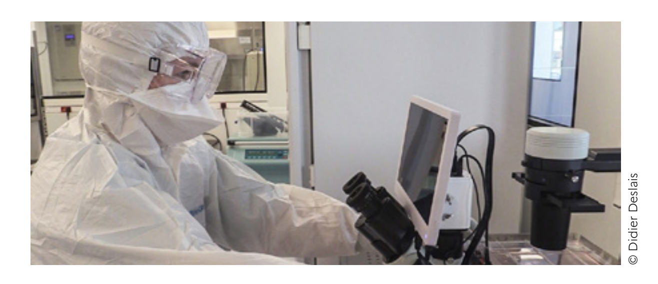
ECELLFrance

Plateforme nationale pour la médecine régénératrice basée sur les cellules souches mesenchymateuses adultes

ECELLFrance (ECF) a pour mission le développement des thérapies cellulaires basées sur l'utilisation des cellules souches mésenchymateuses (CSM) afin de régénérer les tissus endommagés dans des pathologies liées à l'âge ou chroniques/inflammatoires actuellement sans traitement curatif viable.

ECF, implantée sur 7 sites, intègre 11 plateformes technologiques et rassemble des experts nationaux reconnus au niveau international dans les domaines suivants : maladies ostéo-articulaires, auto-immunes, neuro-vasculaires, dermatologie et ischémie. Ces expertises seront étendues à d'autres thérapies cellulaires comme les CAR-T cells et les immunothérapies médiées par les lymphocytes NK.

ECF coordonne entièrement l'ensemble des services allant de la production de CSM au pipeline de développement incluant : la validation du projet, les études précliniques, le support réglementaire, la production de Médicaments de Thérapie Innovante, les tests d'innocuité et d'activité, les essais cliniques et l'immunomonitoring.


© Didier Deslais

Le transfert clinique des thérapies médiées par les CSM sera renforcé par :

– i) l'introduction et l'automatisation de bioréacteurs ;
– ii) la nouvelle génération de CSM (génétiquement modifiées, générées à partir d'iPS, avec un effet biologique renforcé) ;
– iii) l'identification de sous types de CSM (single cell array, méthylome de sous-populations phénotypées) ;
– iv) la caractérisation des vésicules extracellulaires sécrétées par les CSM.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

ECELLFrance est à l'origine de :

– 10 brevets
– 2 spin-offs créées en 2018 : MedXCell Science à Montpellier qui bioproduit des CSM pour traiter des maladies ostéo-articulaires et Cell Easy à Toulouse qui bioproduit des CSM d'origine adipeuse pour des thérapies allogéniques.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Production annuelle de données : 75 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Montpellier

Localisation des autres sites (en France) : Besançon, Clamart, Créteil, Grenoble, Rennes, Toulouse

Établissement(s) français porteur(s) : Université de Montpellier

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Christian Jorgensen

Année de création : 2011

Année d'exploitation : 2012

Tutelles/Partenaires : EFS, CNRS, Inserm, CHU Montpellier, CHU Rennes, Université Toulouse III - Paul Sabatier, UGA, Centre Hospitalier Universitaire de Grenoble-Alpes, Centre de Transfusion Sanguine des Armées

Contact en France : www.ecellfrance.com/home/contact-us

Site web : www.ecellfrance.com



EMBRC France

Centre National de Ressources Biologiques Marines

Le Centre National de Ressources Biologiques Marines (EMBRC-France) est Infrastructure de Recherche (IR) nationale, lauréate en 2010 de l'appel à projets « Infrastructures nationales en biologie et santé » du programme « Investissements d'avenir ». EMBRC-France est le nœud français de l'« European Marine Biological Resource Centre » (EMBRC-ERIC). L'Infrastructure est coordonnée par Sorbonne Université (SU) et le Centre National de Recherche Scientifique (CNRS). EMBRC-France intègre les services et expertises des 3 stations SU – CNRS, l'Observatoire Océanologique de Banyuls sur mer, l'Institut de la Mer de Villefranche sur mer et la Station Biologique de Roscoff.

EMBRC-France a pour mission de mettre en accès, sur site ou par expédition, les écosystèmes marins et les ressources biologiques marines, ainsi que de mettre à la disposition des utilisateurs un environnement scientifique et technologique de haut niveau.
Les services dans l'offre d'EMBRC-France se classifient


© David Luquet (Institut de la Mer de Villefranche)

en : Fourniture de ressources biologiques marines (stabulation et/ou mise en culture, collections d'organismes planctoniques, organismes modèles et mise à disposition de ressources génétiques et génomiques), Accès aux écosystèmes marins, Plateformes technologiques, Services soutien et Formation. L'IR a pour objectif de faciliter cet accès aux communautés académique et industrielle, afin de soutenir les projets de recherche de l'ensemble de la communauté française.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les relations avec le monde économique sont gérées par les services de valorisation des tutelles, SU et CNRS. L'IR compte un Conseil des Collectivités Territoriales, avec des représentants des Régions Bretagne, Occitanie et Sud, et des deux Pôles Mer, Méditerranée et Bretagne-Atlantique. L'IR est très attentive à la stratégie des Régions en matière de Smart Specialization Strategy et à sa bonne insertion dans les écosystèmes d'innovation locaux.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 2 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.ebi.ac.uk/ena

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Banyuls-sur-Mer, Paris 5e, Roscoff, Villefranche-sur-Mer
Établissement(s) français porteur(s) : Sorbonne U, CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Gemma Giménez Papiol
Année de création : 2011
Année d'exploitation : 2014
Contact en France : www.embrc-france.fr/fr/qui-sommes-nous/contact
Site web : www.embrc-france.fr

Dimension internationale

EMBRC, ESFRI landmark
Responsable : Nicolas Pade

Pays partenaires : FR, BE, ES, GR, IL, IT, NO, PT, GB
Site internet : www.embrc.eu



EMERG'IN

Infrastructure Nationale de Recherche pour la lutte contre les maladies infectieuses animales émergentes ou zoonotiques par l'exploration *in vivo*

EMERG'IN est une infrastructure de recherche distribuée pour la lutte contre les maladies infectieuses animales émergentes ou zoonotiques par l'exploration in vivo sur une très grande variété d'animaux (animaux modèles et de rente, faune sauvage, arthropodes vecteurs). L'infrastructure est constituée de 5 plateformes expérimentales complémentaires appartenant à INRAE, à l'ANSES et au CIRAD.

L'ambition d'EMERG'IN est de doter la France d'un instrument de coordination nationale pour accroitre les connaissances d'amont et pour accélérer la mise sur le marché de moyens de contrôle et de diagnostic des maladies infectieuses (vectorisées ou non) capables de porter atteinte aux santés humaine et animale. Dans ce but et avec le soutien des Instituts Carnot (France Futur Elevage, AgriFood Transition), EMERG'IN développe des partenariats public-privé. EMERG'IN propose (1) une large gamme de dispositifs de type A2/A3/I2, (2) des animaux à statut sanitaire contrôlé, (3) des isolateurs (volaille, rongeurs) pour étudier l'impact des microbiotes sur la physiopathologie des infections, (4) des dispositifs d'imagerie in vivo et de chirurgie pour suivre les processus infectieux et (5) se dote d'équipements de télémétrie pour l'analyse des données physiologiques et comportementales acquises lors des expérimentations. EMERG'IN, en partenariat avec différents acteurs de recherche travaille parallèlement sur de nouvelles méthodes alternatives à l'expérimentation in vivo et à son raffinement.


© Bovin : Shutterstock

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

EMERG'IN entretient des contacts étroits et réguliers avec l'ensemble des acteurs publics (Universités, organismes de recherche) et privés de la santé animale via des prestations et des contrats de recherche (nationaux/ANR), Européens/Horizon Europe ou privés). L'impact socio-économique d'EMERG'IN concerne la santé publique, les secteurs de production animale, la chaîne de production des aliments, les politiques publiques et les citoyens.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 5 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://dataverse.cirad.fr/dataverse/astre

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Nouzilly

Localisation des autres sites (en France) : Jouy-en-Josas, Montferrier-sur-Lez, Nouzilly, Ploufragan

Établissement(s) français porteur(s) : INRAE

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Fabrice Laurent

Année de création : 2018

Année d'exploitation : 2018

Tutelles/Partenaires : Anses, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, Cirad, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

Contact en France : emergin@inrae.fr

Site web : www.emergin.fr

Dimension internationale

VetBioNet

Pays partenaires : FR, NL, DE, UK, ES, PL, DK, IE, CH, IT

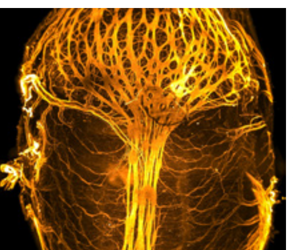
Site internet : www.vetbionet.eu

FBI

France-BioImaging

Pour permettre l'accès à l'ensemble de la communauté nationale aux dernières innovations en Imagerie des sciences du vivant, FBI infrastructure multidisciplinaire :

– explore de nouvelles voies en bio-imagerie et encourage leurs applications en sciences biologiques. Elle est un outil pour la recherche dans de nombreux domaines, de la recherche sur la biologie des plantes ou les cellules souches aux études précliniques et translationnelles sur le cancer ou les maladies neurodégénératives ;
– vise à favoriser le transfert technologique des innovations réalisées par ses équipes expertes de R&D vers ses plateformes. Elle a pour vocation d'en accélérer l'accès, tout en assurant le contrôle de la qualité et la pérennité des systèmes d'acquisition et des données produites ;
– est un portail d'entrée pour des projets privés/publics dans le domaine de la microscopie avancée, en particulier pour le criblage et le développement de médicaments et de principes actifs en cosmétique ;


© Orestis FAKLARIS / Nicolas CHEVALIER / IJM / France-BioImaging / CNRS Photothèque

– est un centre de ressources pour la formation et l'éducation. FBI soutient les activités de dissémination en imagerie biologique, organise et participe à des programmes nationaux et internationaux de formation (FBI-AT ; EMBO cours et ateliers, réunions Elmi, scolaires CNRS…) ;
– est le Nœud français de l'ERIC Euro-BioImaging et est impliquée dans des réseaux et programmes européens et internationaux (Global BioImaging, projets COST…).

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

France-BioImaging entretient des relations avec le monde industriel via des prestations de service et des collaborations de recherche. L'infrastructure est également dotée d'un comité industriel avec lequel elle développe des actions communes dans le domaine de l'imagerie. Ce comité comprend des entreprises majeures du domaine, de nombreuses TPE-TPI françaises qui développent des systèmes innovants et de jeunes pousses nationales.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/France-Bio-Imaging-Data
- Production annuelle de données : 12 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://cid.curie.fr

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Montpellier
Localisation des autres sites (en France) : Bordeaux, Gif-sur-Yvette, Marseille, Nantes, Rennes
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Edouard Bertrand
Année de création : 2011
Année d'exploitation : 2012
Tutelles/Partenaires : AMU, IP, Inria, Inserm, Université de Paris, UB, UM, Curie PSL, ENS PSL, École polytechnique (X), Université de Rennes 1, Université de Nantes
Contact en France : contact@france-bioimaging.org
Site web : https://france-bioimaging.org

Dimension internationale

Euro-Bioimaging, ESFRI landmark
Responsable : John Eriksson

Pays partenaires : AT, BG, CZ, DK, FI, FR, HU, IT, ISL, NL, NO, PL, PT, SE, SI, UK
Site internet : www.eurobioimaging.eu



F-CRIN

Plateforme Nationale d'Infrastructures de recherche Clinique

F-CRIN est une infrastructure nationale en recherche clinique. Sa vocation est d'identifier, accompagner et structurer la recherche clinique francaise pour renforcer ses performances, et donc son attractivité et sa visibilité à l'international. Organisation transversale qui associe les principaux opérateurs de recherche clinique qu'ils soient académiques, hospitaliers et industriels, elle a pour vocation de fédérer les expertises médicales, méthodologiques, statistiques, opérationnelles, dont dispose la France en recherche clinique dans des domaines porteurs et en pointe de la santé humaine. À ce titre F-CRIN compte à l'heure actuelle 21 composantes dont 16 réseaux nationaux thématiques de recherche et d'investigation clinique, 3 réseaux d'expertise ciblées, une plateforme de services de pointe en recherche clinique, et une coordination nationale qui assure une double fonction de représentation de l'Infrastructure et de centrale de services supports pour l'ensemble des composantes.



© F-CRIN

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Au total, depuis sa mise en place, F-CRIN a participé à plus de 671 projets de recherche clinique dont 4 % d'envergure internationale. Près de la moitié de ces projets associent ou sont promus par un industriel (avec un recrutement supérieur à 62 000 patients). Plus de 1 350 publications scientifiques mentionnent F-CRIN ou l'une de ses composantes. La coordination de F-CRIN a organisé 70 modules de formation ayant associé près de 1 800 participants.

Science ouverte et données

- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.fcrin.org

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris, Toulouse

Localisation des autres sites (en France) :

Établissement(s) français porteur(s) : Inserm, AP-HP, CHU Saint-Étienne, CHU Toulouse, Université Toulouse III - Paul Sabatier, Centre Hospitalier de Bordeaux, Centre de recherche en nutrition humaine « Rhône-Alpes ».

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Olivier Rascol

Année de création : 2012

Année d'exploitation : 2012

Contact en France : Vincent Diebolt

Site web : www.fcrin.org

Dimension internationale

ECRIN, ESFRI landmark

Responsable : Jacques Demotes

Pays partenaires : FR, IT, ES, IE, NO, CZ, DE, HU, PT

Site internet : https://ecrin.org



FLI

France Life Imaging

France Life Imaging (FLI) est une Infrastructure Nationale en Biologie Santé créée en 2012.
Elle rassemble en un réseau coordonné plus de 35 plateformes d'imagerie in vivo pour la recherche biomédicale en France. Le réseau de laboratoires experts en gestion et analyse d'images a mis en place une infrastructure logicielle pour la gestion, l'analyse et la mise à disposition des images générées dans le cadre de projets de recherche clinique et préclinique.
Enfin, FLI anime la communauté scientifique à travers des échanges d'expertises entre laboratoires dans les domaines de recherche critiques d'imagerie, afin de faciliter l'émergence d'innovations. Les missions de FLI sont les suivantes :

– de coordonner les plateformes d'imagerie in vivo pour la recherche biomédicale, distribuées sur le territoire, afin de proposer un accès à des équipements d'imagerie de pointe vis-à-vis de la compétition internationale et de toutes modalités aux chercheurs, académiques et industriels, au plus près de leur laboratoire ;



© FLI et I. Aguila, ASAP

– de proposer des services pour le stockage, l'analyse des images et l'ouverture des données d'imagerie à la communauté ;
– de renforcer l'expertise des laboratoires de recherche en imagerie dans quatre domaines clés de la recherche en imagerie, les agents d'imagerie, l'instrumentation et l'innovation technologie, l'imagerie interventionnelle et le traitement des données multi-modales ;
– de proposer des formations adaptées aux besoins des personnels des plateformes.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

France Life Imaging met à disposition des chercheurs académiques ou industriels les équipements d'imagerie très innovants et les expertises des laboratoires associés. Pour faciliter l'accès des industriels aux plateformes, FLI a tissé des liens avec les pôles de compétitivité régionaux du domaine ; des plateformes et hubs régionaux sont membres d'instituts Carnot. FLI a des relations étroites avec les sociétés savantes d'imagerie du domaine.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://project.inria.fr/fli/en
- Production annuelle de données : 300 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Montpellier, Saclay
Localisation des autres sites (en France) : Bordeaux, La Tronche, Marseille, Nancy, Nantes, Paris, Rennes, Saint-Aubin, Strasbourg, Toulouse, Villeurbanne
Établissement(s) français porteur(s) : CEA

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Vincent Lebon
Année de création : 2012
Année d'exploitation : 2012
Tutelles/Partenaires : CNRS, Inserm, Inria, AMU, UBx, Université Claude Bernard - Lyon 1, UGA, Université de Paris, Université Paris-Saclay, Université de Nantes, Université de Rennes 1, Université de Lorraine, Université de Strasbourg, Université de Montpellier, Université Toulouse III - Paul Sabatier
Contact en France : www.francelifeimaging.fr/contact-3
Site web : www.francelifeimaging.fr



France Cohortes

France Cohortes

France Cohortes développe et mutualise des services et une infrastructure informatique sécurisée certifiée « hébergeur de données de santé », pour accompagner les équipes de recherche porteuses d'une cohorte de santé publique dans la consolidation et le traitement de leurs données (du recueil à leur réutilisation), et ce, dans le respect de la confidentialité des données des participants.

Les cohortes françaises fournissent régulièrement des données essentielles à la recherche et aux études en santé humaine, sur de longues périodes. France Cohortes met en place un centre de ressources et de services auprès des chercheurs, pour valoriser et pérenniser les projets et l'exploitation scientifique des données produites par les cohortes de santé publique, favorisant ainsi l'émergence de connaissances utiles à la prévention des maladies et à l'amélioration des soins, chez tout ou partie de la population.



© Igor Vitomirov (Adobe Stock)

D'ici 2024, France Cohortes intègrera plusieurs cohortes affiliées au périmètre initial des tutelles de l'infrastructure. Au-delà, les services seront ouverts aux nouvelles cohortes sur des critères d'éligibilité scientifiques et institutionnels.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les cohortes, soutenues par les financements publics, sont désormais des outils fortement identifiés par la communauté scientifique nationale et internationale. La proposition faite autour de France Cohortes doit permettre leur pérennisation via les différents services apportés, et également d'accompagner l'ouverture des bases de données des cohortes à la communauté de recherche.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Production annuelle de données : 10 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://epidemiologie-france.aviesan.fr

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Aubervilliers, Paris, Paris 12e, Villejuif
Établissement(s) français porteur(s) : Inserm

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Grégoire Rey
Année de création : 2020
Année d'exploitation : 2020
Tutelles/Partenaires : Université Paris-Saclay, Sorbonne U, Université de Paris, INED
Contact en France : https://francecohortes.org/contact
Site web : https://francecohortes.org



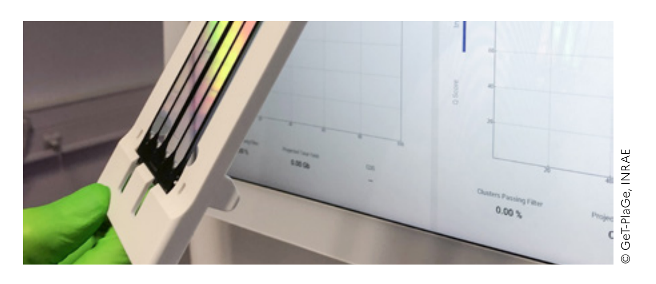
France Génomique

Infrastructure nationale de génomique et bioinformatique associée

France Génomique a pour mission de proposer à la communauté scientifique publique et privée l'accès à des plateformes françaises fournissant la meilleure expertise en génomique, capables de les accompagner efficacement dans la réalisation de leurs projets

L'établissement d'une gouvernance et d'un point d'entrée unique pour la gestion des grands et moyens projets ainsi que la mutualisation des équipements et des compétences permet à l'ensemble des scientifiques du domaine de se structurer afin d'atteindre la masse critique nécessaire pour répondre aux besoins croissants de séquençage, de stockage et de traitement des données.

L'infrastructure a également pour mission de se maintenir à la pointe des avancées internationales



© GeT-PlaGe, INRAE

grâce à une veille intensive et à des développements innovants portant sur les technologies, les méthodologies et de contribuer à leur diffusion au travers d'actions de formation, de workshops, colloques, etc

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Au cœur de la révolution technologique de la génomique, France Génomique offre à la recherche française la possibilité de maintenir sa compétitivité avec accès en permanence au meilleur niveau de l'état de l'art dans ce domaine. France Génomique est ainsi un acteur clé des grands projets de génomique à fort impact socio-économique, dans tous les domaines des sciences du vivant : génétique humaine et médecine, environnement et écologie, agronomie.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 0,5 Po
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.ebi.ac.uk/ena/browser/home

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Évry-Courcouronnes

Localisation des autres sites (en France) : Auzeville-Tolosane, Clermont-Ferrand, Illkirch-Graffenstaden, Montpellier, Marseille, Paris, Valbonne

Établissement(s) français porteur(s) : CEA

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Patrick Wincker et Denis Milan

Année de création : 2011

Année d'exploitation : 2011

Tutelles/Partenaires : CNRS, INRAE, INSERM, Institut Curie - Curie, Institut Pasteur, AMU, ENS ULM, Université de Strasbourg, Université Lille 1 - Sciences technologies

Contacts en France : Marie-Thérèse Bihoreau, Patrick Wincker, Denis Milan

Site web : www.france-genomique.org

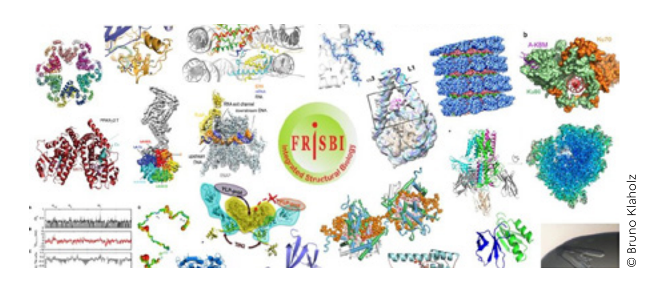


FRISBI

Infrastructure Française pour la Biologie Structurale Intégrée

La biologie structurale intégrée permet par la combinaison de différentes approches d'accéder à des informations structurales et dynamiques au niveau de diverses échelles de taille et de temps et ainsi d'améliorer la compréhension du mode d'interaction dynamique des macromolécules biologiques et de leurs complexes fonctionnels, des pathogènes avec leur environnement et ainsi de comprendre les mécanismes qui régissent le fonctionnement des cellules saines et documenter le lien entre dérégulation moléculaire et pathologie. L'infrastructure Française de Biologie Structurale Intégrée, FRISBI, distribuée sur 5 centres (Strasbourg, Grenoble, Montpellier, Marseille et Paris Saclay) offre à la communauté scientifique académique et industrielle, nationale et européenne un accès à un panel de technologies et de savoir-faire de pointe adaptés à des projets de biologie structurale intégrée (http://frisbi.eu) dans les domaines de la :

– production d'échantillon en systèmes eucaryotes, procaryotes, in vitro ;
– caractérisation biophysique ;
– cristallisation ;



© Bruno Klaholz

– cristallographie incluant des liens avec synchrotrons ESRF et SOLEIL ;
– microscopie électronique ;
– microscopie super-résolutive à fluorescence ;
– RMN ;
– spectroscopies.

FRISBI a une mission de formation en Biologie Structurale Intégrée qui se réalise à travers l'initiative ReNaFoBis (Réseau National de Formation en Biologie Structurale Intégrative) pour la formation des jeunes chercheurs niveau doctorat et post-doc (www.renafobis.fr).

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

FRISBI est une infrastructure dont l'accès est ouvert aux industriels. Des partenariats ont été mis en place pour le développement technologique tel que l'automatisation de collecte d'image en microscopie électronique. Des collaborations et services ont été établis avec des PME et des grandes entreprises pharmaceutiques et de biotechnologie pour l'utilisation de la plateforme FRISBI. Des start-ups ont été créées, des brevets et licences déposés.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle
- Production annuelle de données : 3 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.ebi.ac.uk/pdbe/emdb

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Gif-sur-Yvette, Grenoble, Illkirch-Graffenstaden, Marseille, Montpellier
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Bruno Klaholz
Année de création : 2011
Année d'exploitation : 2011
Tutelles/Partenaires : CEA, Inserm, Université de Strasbourg, Université de Montpellier, Université Paris-Saclay, UGA, AMU, EMBL
Contact en France : contact@frisbi.eu
Site web : http://frisbi.eu

Dimension internationale

Instruct-ERIC, ESFRI landmark
Responsable : Harald Schwalbe

Pays partenaires : UK, FR, BE, IT, ES, IL, CZ, FI, PT, NL, SK, LT, LV, EMBL
Site internet : www.instruct-eric.eu



IBISBA France

Industrial Biotechnology Innovation and Synthetic Biology Acceleration

IBISBA (Industrial Biotechnology Innovation and Synthetic Biology Acceleration) est une infrastructure de recherche européenne distribuée dont la vocation est de soutenir la recherche et l'innovation en biotechnologies pour l'industrie et pour l'environnement. Son activité s'inscrit donc dans le développement de technologies pour la bioéconomie circulaire et dans la quatrième révolution industrielle. L'originalité d'IBISBA dans le paysage français porte à la fois sur sa multidisciplinarité et sur son ambition de réaliser de la recherche translationnelle. Ainsi en tant qu'intégrateur, IBISBA assemble des connaissances fondamentales issues des recherches en biologie, en génie des procédés et en sciences numériques pour créer le continuum entre la recherche fondamentale d'une part et la R&D industrielle d'autre part. De fait, IBISBA participe activement aux projets de recherche pré-compétitifs et en partenariat avec les acteurs socioéconomiques.

Acteur en biotechnologies pour l'industrie et pour l'environnement, les finalités des recherches


© reptile8488

d'IBISBA sont nombreuses, couvrant les domaines des bioénergies (ex. le biométhane et le bio-H2), des produits chimiques pour l'industrie (ex. plasturgie), des ingrédients pour les industries agroalimentaires, et des composés pour les industries cosmétique et pharmaceutique. Les recherches conduites dans le cadre d'IBISBA visent en outre la production de services, tels que le biorecyclage de déchets ou la bioprotection de cultures agricoles.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

En tant qu'acteur de la recherche translationnelle en biotechnologies pour l'industrie et l'environnement, IBISBA est un maillon clef dans l'écosystème R&D&I français. Toutes les plateformes d'IBISBA travaillent en partenariat avec des entreprises, à la fois pour soutenir l'activité des start-ups et PME innovantes et pour contribuer aux projets menés par des grandes entreprises dont les activités concernent différents secteurs marchands.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/search?q=ibisba
- Production annuelle de données : 10 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://hub.ibisba.eu

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Jouy-en-Josas, Ramonville-Saint-Agne, Saint-Nazaire, Saint-Paul-lès-Durance, Toulouse, Évry-Courcouronnes
Localisation des autres sites (en France) : Bélesta-en-Lauragais, Narbonne
Établissement(s) français porteur(s) : INRAE

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Michael O'Donohue
Année de création : 2017
Année d'exploitation : 2021
Tutelles/Partenaires : INSA de Toulouse, CNRS, CEA, Université de Nantes
Contact en France : ibisba-fr@ibisba.eu
Site web : www.ibisba.fr

Dimension internationale

IBISBA EU, ESFRI project
Responsable : Michael O'Donohue

Pays partenaires : FR, IT, ES, GR, UK, BE, DE, NL, FI
Site internet : www.ibisba.eu



IDMIT

Infrastructure nationale pour la modélisation des maladies infectieuses humaines et les thérapies innovantes

Le CEA, l'Institut Pasteur, l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale, l'Agence nationale de Recherche sur le SIDA et les Hépatites Virales – Maladies infectieuses émergentes, l'Université Paris Saclay sont les fondateurs institutionnels de l'infrastructure de recherche pour la modélisation des maladies infectieuses et des thérapies innovantes (IDMIT) sur le site du CEA de Fontenay-aux-Roses. Cette infrastructure est dédiée aux programmes de recherche préclinique sur les vaccins et les thérapies dirigées contre les pathologies infectieuses humaines. Les partenaires, tous leaders internationaux dans le domaine de recherche, apportent leurs expertises complémentaires pour créer une infrastructure unique en Europe, dotée de plates-formes technologiques innovantes pour l'étude des pathologies infectieuses à l'aide de modèles animaux, notamment des primates non humains. L'objectif principal du consortium est de fournir à la communauté scientifique nationale et internationale une infrastructure hautement compétitive accélérant le transfert de l'innovation de la recherche vers la clinique. L'infrastructure IDMIT comporte des laboratoires de recherche, des plateformes technologiques (imagerie in vivo notamment) en confinement de classes 2 et 3, et des animaleries dédiées à l'infection expérimentale par des pathogènes de classe 2 et 3 (SIDA, fièvre jaune, coqueluche, dengue, chikungunya, paludisme), incluant des agents respiratoires (grippe, Covid-19, tuberculose).



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

IMDIT collabore depuis sa création avec les acteurs privés (PME et Big Pharma) dans le domaine des maladies infectieuses humaines, dont GlaxoSmithKline, Novartis, Sanofi Pasteur, Merck et Valneva via des collaborations ou des prestations de recherche. IDMIT développe également des partenariats locaux avec des PME pour accélérer le transfert des technologies issues de l'infrastructure.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Production annuelle de données : 10 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Fontenay-aux-Roses
Localisation des autres sites (en France) :
Établissement(s) français porteur(s) : CEA, Inserm, Université Paris-Saclay, ANRS Maladies infectieuses émergentes

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Roger Legrand
Année de création : 2012
Année d'exploitation : 2012
Tutelles/Partenaires : ONCODESIGN
Contact en France : infoidmit@cea.fr
Site web : www.idmitcenter.fr

Dimension internationale

Transvac2

Pays partenaires : CH, DE, DK, ES, FR, IT, NL, PT, UK
Site internet : www.transvac.org/transvac2-about



IFB

Institut Français de Bioinformatique

L'Institut Français de Bioinformatique (IFB) est une infrastructure nationale distribuée qui assure un support, déploie des services, organise des formations et réalise des développements innovants pour les communautés des sciences du vivant et de la santé. L'IFB fédère 35 plateformes régionales et équipes associées, ainsi qu'une unité coordinatrice, IFB-core (UMS CNRS 3601). L'IFB est le nœud français de l'Infrastructure de Recherche européenne en bioinformatique ELIXIR (https://elixir-europe.org).

L'IFB a pour mission d'offrir aux communautés des sciences de la vie et de la bioinformatique, un accès aux ressources vitales pour leur recherche, un accompagnement de projets reposant sur un fort niveau d'expertise, et la possibilité de participer à des projets ambitieux au niveau national et international. L'IFB assure aussi la représentation des services bioinformatiques français au sein de l'infrastructure ELIXIR. Les services offerts par l'IFB sont de différentes



© Suzanne Lauriou

natures : les données, les outils, la formation, l'appui aux projets de recherche et la mise à disposition d'une infrastructure informatique dédiée aux sciences de la vie. Afin de maintenir la recherche française au plus haut niveau de compétitivité et de performance dans l'analyse bioinformatique, l'IFB anticipe les futurs besoins du domaine et participe aux innovations méthodologiques, en particulier pour répondre aux challenges de la bioinformatique intégrative.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

L'IFB développe de nombreuses collaborations avec les chercheurs du monde académique et privé. Entre 2017 et 2019, l'IFB a été engagé dans 848 prestations de services au niveau national (dont 28 avec des PME et TPE) et 247 au niveau international, et dans 77 collaborations scientifiques (dont 11 avec des PME et TPE). L'IFB est un acteur clé dans des grands projets nationaux à fort impact économique (i.e, surveillance et recherche en génomique).

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/IFB-ElixirFr
- Production annuelle de données : 9 Po
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://ressources.france-bioinformatique.fr/fr/services/donnees

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Orsay

Localisation des autres sites (en France) : Auzeville-Tolosane, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Jouy-en-Josas, Montpellier, Nantes, Paris 5e, Paris 13e, Paris 15e, Rennes, Roscoff, Strasbourg, Versailles, Villeurbanne, Évry-Courcouronnes

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS-INSB

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Claudine Médigue

Année de création : 2013

Année d'exploitation : 2016

Tutelles/Partenaires : INRAE, Inserm, CEA, Inria

Contact en France : www.france-bioinformatique.fr/guichet-conseil-orientation/

Site web : www.france-bioinformatique.fr

Dimension internationale

ELIXIR, ESFRI landmark

Responsable : Niklas Blomberg

Pays partenaires : BE, CH, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, HU, IR, IS, IT, LU, NO, NL, PT, UK, SL, SE.

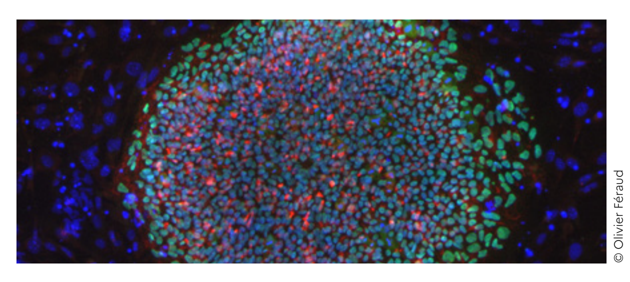
Site internet : https://elixir-europe.org



INGESTEM

Infrastructure nationale des cellules souches pluripotentes et ingénierie tissulaire

L'infrastructure INGESTEM développe les applications médicales issues des cellules souches humaines embryonnaires (ESC) et pluripotentes induites (iPSC). L'objectif est d'accélérer le développement des technologies de pointe et la recherche translationnelle pour modéliser des maladies via les iPSC avec le but de développer des nouvelles thérapies cellulaires et génique pour des futures applications, médecine régénérative et de cancérologie. INGESTEM développe les innovations et ressources technologiques en partenariat avec des consortia européens et internationaux, dans les stratégies de reprogrammation cellulaire, les protocoles de différenciation et stratégie de criblages moléculaires, et de culture à grande échelle de produits cellulaires de grade clinique. Les iPSC/ESC sont utilisées pour l'ingénierie du génome et la génération d'organoïdes pour des thérapies innovantes et thérapies cellulaires dans le domaine Les cellules iPSC/ESC dérivées de modèles animaux sont disponibles pour évaluer l'innocuité et l'efficacité thérapeutique in vivo des greffons cellulaires dérivés des ESC/iPSC. INGESTEM développe aujourd'hui la banque nationale d'IPSC « Haplobank » au sein d'une plateforme universitaire à Genopole pour générer des lignées d'IPSC de grade clinique qui permettront de générer des « MTI » médicaments de thérapies innovantes, pour des essais cliniques Phase I/II en médecine régénérative et immuno- oncologie.



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Depuis sa création, INGESTEM a formé plus de 170 personnes à la reprogrammation cellulaire et participe à des consortia européens et internationaux tels que PreviTox (national), ScreenTox et RESTORE (européen) et GAIT, Global Alliance for iPSC Therapies (international). 6 spin-off ont émergé d'INGESTEM avec 3 Awards iLAB et 11 brevets ont été déposés dans le domaine des cellules iPS, dont 2 licences en co-développement avec les industriels.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 100 To

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Bron, Corbeil-Essonnes, Montpellier, Villejuif
Établissement(s) français porteur(s) : Inserm

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Annelise Bennaceur
Année de création : 2021
Année d'exploitation : 2021
Tutelles/Partenaires : Université Paris-Saclay, Université Évry-Val-d'Essonne, CHU Montpellier
Contact en France : Annelise Bennaceur
Site web : www.ingestem.fr

Dimension internationale

GAIT

Pays partenaires : CA, CN, FR, KR, US, UK
Site internet : www.gait.global



Laboratoire P4 Jean Mérieux

Infrastructure de recherche dédiée aux maladies hautement infectieuses – Laboratoire P4 Jean Mérieux Inserm

Le Laboratoire P4 Jean Mérieux est une infrastructure de recherche dédiée à l'étude des agents pathogènes les plus dangereux appartenant au groupe de risque 4 (GR4).

L'état des connaissances concernant les agents de Groupe de risque 4, qui se caractérisent par une forte mortalité, l'absence d'outils de diagnostic et de moyens thérapeutiques et prophylactiques reste très limité. Dans ce contexte, le laboratoire P4 est organisé en grand outil de recherche accueillant des équipes académiques ou privées, nationales mais aussi européennes et internationales. Acteur majeur de la capacité de recherche européenne RG4, l'infrastructure apporte à la communauté scientifique des capacités opérationnelles de pointe ainsi que des services scientifiques et techniques performants adaptées à la mise en place de programmes innovants allant du très fondamental aux essais pré-cliniques ; et visant à une meilleure compréhension des mécanismes de physiopathologie associées à l'infection par ces virus ainsi qu'au développement de nouveaux outils prophylactiques, thérapeutiques et de diagnostic.


© Inserm/Patrick Delapierre

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

La mise à disposition de l'infrastructure concerne l'apport d'une assistance scientifique et technique pour la définition et la réalisation de projet.
Toute expérimentation peut être réalisée pour les porteurs de projet par le personnel du laboratoire.
Dans ce contexte, le laboratoire P4 Jean Mérieux a établi de solides partenariats avec des acteurs nationaux, européens et au sein de consortia ou en bilatéral avec des acteurs privés.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 10 To
- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Lyon
Établissement(s) français porteur(s) : Inserm

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Hervé Raoul
Année de création : 1999
Contact en France : www.laboratoirep4-jeanmerieux.inserm.fr/contactez-nous
Site web : www.laboratoirep4-jeanmerieux.inserm.fr

Dimension internationale

ERINHA, ESFRI landmark
Responsable : Hervé Raoul

Pays partenaires : SE, PT, HU, NL, FR
Site internet : www.erinha.eu

LiPh@SAS

Livestock Phenotyping for Sustainable Agricultural Systems

LiPh@SAS est une infrastructure dédiée au phénotypage des animaux d'élevage (bovins, petits ruminants, porcins, poissons). Elle est constituée de 8 entités expérimentales hébergeant des animaux, d'une plateforme d'exploration fonctionnelle et d'une structure dédiée à la gestion et à la mise à disposition des données produites. Les phénotypes mesurés vont de l'exploration fine des fonctions biologiques sur de petits effectifs d'animaux (phénotypage vertical), jusqu'à des mesures non invasives sur des effectifs importants (phénotypage horizontal). Les animaux ont des statuts sanitaire, génétique et physiologique connus de façon précise. Ils sont issus de populations commerciales ou de populations originales permettant l'étude de fonctions biologiques particulières.
Les mesures, standardisées et robustes, sont réalisées dans des conditions d'élevage variées et finement caractérisées, permettant d'étudier les interactions génotype x milieu ou les réponses des animaux à des variations environnementales. Les protocoles sont conçus de façon à assurer la reproductibilité des résultats et se déroulent dans le plus strict respect du bien-être animal et de la réglementation sur l'expérimentation animale (règle des 3R – Réduire, Raffiner, Remplacer). L'infrastructure a également une mission d'innovation technologique, notamment pour la mise au point de méthodes non invasives, d'alternatives à l'expérimentation animale, de formation et de transfert de technologies.



© Jean-Pierre Bidanel (Montage)

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

LiPh@SAS a de nombreux liens avec les instituts techniques agricoles (collaborations scientifiques, unités mixtes technologiques, conventions…). Plusieurs collaborations existent également avec des acteurs du secteur privé, soit directement, soit via des unités de recherche, dans le cadre notamment du Carnot France Futur Elevage, ainsi qu'avec avec des Start up/des PME en matière de développement d'outils de phénotypage ou logiciels.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 40 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://data.inrae.fr

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Castanet-Tolosan, Osmoy, Saint-Genès-Champanelle, Saint-Gilles, Saint-Pierre-d'Amilly, Saint-Pée-sur-Nivelle, Sizun
Établissement(s) français porteur(s) : INRAE

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Jean-Pierre Bidanel
Année de création : 2021
Année d'exploitation : 2021
Contact en France : Jean-Pierre Bidanel
Site web : www6.inrae.fr/liph4sas

Dimension internationale

AquaExcel2020/SmartCow/PigWeb

Site internet : https://aquaexcel2020.eu



MetaboHUB

Infrastructure française distribuée pour la métabolomique et la fluxomique dédiée à l'innovation, à la formation et au transfert de technologie

MetaboHUB fournit aux chercheurs français et internationaux les outils et méthodes essentielles pour le phénotypage métabolique et la caractérisation fonctionnelle du métabolisme des systèmes biologiques dans de nombreux domaines de recherche (santé, plantes, biotechnologies). Pour cela, MetaboHUB développe et transfère à la communauté scientifique académique et privée des méthodes d'analyse physico-chimiques ainsi qu'un écosystème d'outils numériques pour l'analyse des données nécessaires aux approches métabolomiques et fluxomiques (W4M, PeakForest, MetExplore). Ces technologies (RMN, LC-MS, GC-MS, statistiques, bioinformatique) sont développées en vue de permettre le phénotypage biochimique à haut débit et haute résolution de la cellule unique jusqu'aux grands ensembles d'échantillons (fluides biologiques issus de cohortes humaines, extraits de plantes, de micro-organismes) et les mesures de flux métaboliques à haut débit chez les cellules procaryotes et eucaryotes. MetaboHUB a développé depuis 2019 des projets en partenariat avec d'autres infrastructures nationales en biologie et santé afin d'appréhender le métabolisme de manière intégrative et multi-échelle. MetaboHUB regroupe un réseau de 5 plateformes sous la tutelle de l'INRAE et du CEA : Bordeaux (INRAE, CNRS et Univ. Bordeaux); Clermont-Ferrand (INRAE, CNRS, Univ. Blaise Pascal); Toulouse, (Univ. Paul Sabatier, INSA, INRAE, CNRS, INSERM); Paris-Saclay, (CEA, INRAE, Univ. Paris-Saclay); Nantes (CNRS).



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Acteur du monde socio-économique, MetaboHUB a une action forte de formation théorique et pratique des ingénieurs et chercheur aux différents métiers de la métabolomique. MetaboHUB est aussi sollicité par les acteurs industriels de nombreux secteurs d'activité comme l'agroalimentaire, la biotechnologie industrielle, la santé ou l'environnement. Ainsi plus de 150 entreprises ont déjà bénéficié des équipements et du savoir-faire de MetaboHUB.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/eMetaboHUB
- Production annuelle de données : 15 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://metabohub.peakforest.org/webapp

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Toulouse

Localisation des autres sites (en France) : Gif-sur-Yvette, Nantes, Paris, Villenave-d'Ornon

Établissement(s) français porteur(s) : INRAE

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Fabien Jourdan

Année de création : 2013

Année d'exploitation : 2013

Tutelles/Partenaires : CEA, Inserm, CNRS, INSA de Toulouse, UCA, UBx, Sorbonne U, Université Toulouse III - Paul Sabatier

Contact en France : www.metabohub.fr/contact

Site web : www.metabohub.fr



NeurATRIS

Infrastructure de Recherche Translationnelle pour les Biothérapies en Neurosciences

NeurATRIS est une infrastructure de recherche destinée à accélérer la transformation des découvertes issues de la recherche fondamentale en innovations médicales pour le traitement des maladies du système nerveux. Se fondant sur sept centres de recherche principaux situés dans la région parisienne et à Nantes, NeurATRIS représente l'une des plus grandes concentrations de chercheurs, ingénieurs et cliniciens en neurosciences en Europe (environ 2 000). NeurATRIS, infrastructure distribuée, regroupe ainsi MIRCen, SHFJ et Neurospin du CEA, l'Institut du Cerveau, les groupes hospitaliers Henri Mondor, Bicêtre et Robert Debré, l'UMR PANTHER de l'INRAE et I-Stem, autour de compétences, expertises et plateaux techniques de haut niveau et spécialisés en neurologie, biothérapies et troubles du développement neurologique. Dans ces domaines NeurATRIS se positionne ainsi comme la plus grande infrastructure européenne conduisant des projets de R&D et fournissant des services aux universitaires, cliniciens et industriels. L'ensemble des travaux menés grâce à NeurATRIS concerne les maladies de Parkinson, Huntington, Alzheimer, sclérose en plaques, maladies neurodéveloppementales. L'objectif de ces recherches est d'accélérer la compréhension des mécanismes physiopathologiques, biologiques et développementaux, de faciliter la réalisation d'essais précliniques/ cliniques de validation de nouvelles thérapies et de développer des approches innovantes de diagnostic et de soin pour ces pathologies.



© NeurATRIS/ APHP-UPEC/ Julien Valette et Thierry Delzescaux, CEA-MIRCEN/ Martin Carbo-Tano, ICM

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Nœud français de l'ERIC EATRIS, NeurATRIS simplifie l'accès de ses plateformes aux acteurs français et européens et améliore la visibilité de la France dans le domaine de la recherche translationnelle en neurosciences. NeurATRIS développe des partenariats publics et privés visant à développer de nouvelles thérapies, rassembler les expertises dans une structure unique, donner accès à des plateformes de haut niveau en recherche translationnelle.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 1 Po

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Fontenay-aux-Roses
Localisation des autres sites (en France) : Corbeil-Essonnes, Créteil, Fontenay-aux-Roses, Le Kremlin-Bicêtre, Nantes, Orsay, Paris, Saint-Aubin
Établissement(s) français porteur(s) : CEA

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Philippe Hantraye
Année de création : 2011
Année d'exploitation : 2012
Tutelles/Partenaires : Inserm, AP-HP, UPEC, INRAE, ICM
Contact en France : http://neuratris.com/index.php/fr/neuratris-contact
Site web : www.neuratris.com

Dimension internationale

EATRIS, ESFRI landmark
Responsable : Antonio L. Andreu

Pays partenaires : BG, CZ, FI, FR, IT, LV, LU, NL, NO, PT, SI, ES, SE, EE
Site internet : https://eatris.eu



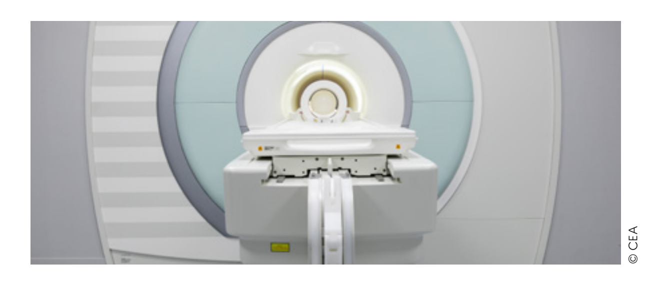
NEUROSPIN

Infrastructure de recherche sur le cerveau exploitant des grands instruments d'imagerie

NeuroSpin est une infrastructure de recherche qui vise à faire progresser la connaissance du cerveau, en particulier du cerveau humain, en développant et en exploitant les méthodologies de pointes en imagerie cérébrale et en neuro-informatique.

NeuroSpin est équipé de 3 scanners IRM pour l'homme (IRM 3T, 7T et 11.7T en cours de test, cette dernière unique au monde) et 3 scanners IRM précliniques pour le petit animal (7T, 11,7T et 17,2T, cette dernière étant à nouveau unique au monde). NeuroSpin dispose aussi d'une plateforme d'enregistrements d'électro-encéphalographie (EEG, 256 canaux) et de magnéto-encéphalographie (MEG, 306 canaux) ainsi que d'instruments d'électrophysiologie (Utah arrays, électrodes laminaires) et d'imagerie 3-photons (rongeur, primates).

NeuroSpin est également doté de moyens de calculs importants (Réseau 1 Gb pour 100 stations de travail, ~1 200 To d'espaces de sauvegarde redondés/archivés,



cluster départemental CATi/NeuroSpin de 500 cœurs). Enfin, il abrite des ateliers techniques (électronique, mécanique, chimie, histologie et culture cellulaire), une infrastructure permettant la recherche clinique et l'investigation impliquant des volontaires, sains ou malades, incluant les enfants et les personnes âgées (lits d'hospitalisation de jour, salles d'examen et de tests, personnel médical et paramédical), et une infrastructure dédiée à la recherche préclinique.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

NeuroSpin ouvre ses grands instruments d'imagerie à toute la communauté française et internationale de la physique et des neurosciences pour répondre à trois grands objectifs :

– Étudier la complexité du cerveau humain à différentes échelles,
– Comprendre ce qui fait la singularité du cerveau humain,
– Identifier les marqueurs et les mécanismes de certaines maladies neurologiques, psychiatriques ou neurodéveloppementales.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 1 Po
- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : monosite

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Saint-Aubin

Établissement(s) français porteur(s) : CEA

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Stanislas Dehaene

Année de création : 2007

Année d'exploitation : 2008

Tutelles/Partenaires : INSERM, INRIA, Université Paris-Sud

Contact en France : Stanislas Dehaene

Site web : http://joliot.cea.fr/drf/joliot/Pages/Plateformes_et_infrastructures/plateformes_imagerie/plateforme-neurospin.aspx



Phenome-Emphasis France

Infrastructure Francaise de Phenomique Végétale

Phenome-Emphasis (créée en 2012 avec un financement ANR-INBS) développe des équipements pour le phénotypage de milliers de plantes, ainsi que des méthodes pour analyser la variabilité génétique des réponses des plantes au changement climatique (sécheresse, CO_2, élevé, hautes températures, maladies émergentes). L'infrastructure a :

– construit ou amélioré des installations en neuf sites français en serre, en champs fortement équipés et dans des réseaux de champs à équipement plus simple ;
– développé de nouveaux capteurs, des robots pour l'acquisition des données, des chaines de traitement et des systèmes d'information capable de gérer des millions de données ;
– disséminé les techniques et les méthodes vers la communauté française de phénotypage (compagnies semencières, instituts techniques, recherche publique) ;
– favorisé l'émergence de PME fournisseuses de technologies.

Phenome-Emphasis continue ces activités, mais a aussi identifié de nouveaux défis :


© Ph Burger

– faciliter la transition agro-écologique avec des équipements et des méthodes pour analyser les interactions entre les plantes et d'autres organismes (micro-organismes, insectes, autres plantes) ;
– déployer un système d'information et des outils pour que les données collectées soient ouvertes et disponibles, avec toutes les informations nécessaires ;
– pleinement insérer ses activités dans un contexte européen, en particulier avec le projet.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Phenome Emphasis participe à la compétitivité de compagnies semencières françaises, qui utilisent ses installations pour la caractérisation de leur matériel génétique. L'infrastructure est en relation étroite avec un réseau de PME via le développement conjoint d'outils et de méthodes, avec des brevets ou licences communes. Elle a aidé ces PME à développer leur catalogue, et à commercialiser leurs produits en France et à l'étranger.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/OpenSILEX
- Production annuelle de données : 0,5 Po
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://data.inrae.fr

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Montpellier

Localisation des autres sites (en France) : Auzeville-Tolosane, Avignon, Beauce la Romaine, Beaucouzé, Bretenière, Castanet-Tolosan, Clermont-Ferrand, Dijon, Mauguio, Montpellier, Nantes, Versailles, Villenave-d'Ornon

Établissement(s) français porteur(s) : INRAE

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : François Tardieu

Année de création : 2016

Année d'exploitation : 2016

Tutelles/Partenaires : Arvalis institut du végétal, Terres inovia

Contact en France : www.phenome-emphasis.fr/Contact

Site web : www.phenome-emphasis.fr

Dimension internationale

EMPHASIS, ESFRI project

Responsables : Ulrich Schurr et François Tardieu

Pays partenaires : DE, UK, NL, BE, PT, CH, IT, FR

Site internet : https://emphasis.plant-phenotyping.eu/Plant_Phenotyping

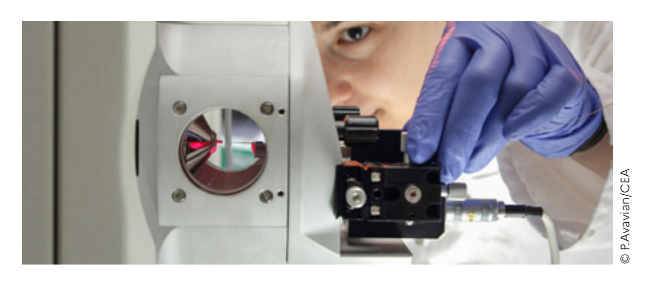


ProFI

Infrastructure Française de Protéomique

L'avancée des connaissances dans le domaine de la biologie et de la santé s'appuie sur le décryptage de mécanismes aux niveaux cellulaire et moléculaire. Les protéines, produits finaux de l'expression des gènes, sont des acteurs majeurs du fonctionnement et des processus de régulations cellulaires. L'Infrastructure Nationale en Biologie et Santé ProFI (Proteomics French Infrastructure) concentre son activité de R&D sur le développement d'outils et de méthodes permettant la caractérisation structurale et fonctionnelle des protéines et des complexes protéiques. L'analyse protéomique trouve aujourd'hui de nombreuses applications, en particulier dans les domaines de la biologie médicale, de l'agroalimentaire et de la biotechnologie.

L'infrastructure ProFI a été créée en février 2012 et regroupe trois des principales plates-formes protéomiques françaises (~70 ETP à Grenoble, Toulouse et Strasbourg). Outre son activité de R&D, ProFI a pour mission d'offrir à la communauté des services d'analyse protéomique dans le cadre de collaborations ou de prestations. ProFI participe à la diffusion de son savoir-faire et des outils qu'elle développe au sein de la communauté scientifique via des actions de formation et de communication.


© P.Avavian/CEA

L'infrastructure ProFI est impliquée dans (i) des actions de coordination envers la communauté protéomique (document prospectif), (ii) des interactions avec d'autres infrastructures en biologie et santé et (iii) des projets d'envergure au niveau international.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

ProFI a de solides relations industrielles (> 30 partenaires), en particulier avec l'industrie pharmaceutique (ex recherche de biomarqueurs protéiques, évaluation de la pureté de vaccins). Les autres secteurs intéressés sont l'alimentation, l'agriculture et la bioproduction. Certains projets sont également menés en lien avec des pôles de compétitivité français. ProFI a été étroitement associé à la création de start-ups (ex Syndivia).

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/profiproteomics
- Production annuelle de données : 80 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.proteomexchange.org

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Grenoble, Strasbourg, Toulouse

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Myriam Ferro

Année de création : 2012

Année d'exploitation : 2012

Tutelles/Partenaires : Inserm, Université de Strasbourg, Université Toulouse III – Paul Sabatier, UGA, CEA

Contact en France : Myriam Ferro

Site web : www.profiproteomics.fr

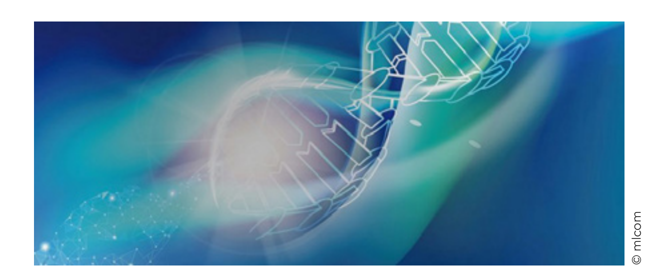


CAD

Collecteur Analyseur de Données

Le projet du Collecteur Analyseur de Données (CAD) est au cœur du Plan France Médecine Génomique 2025. Il a pour ambition de fournir une infrastructure de collecte des données génomiques et de mise à disposition de services, en premier lieu sur le volet du soin pour aider les praticiens à interpréter ces données et en faire bénéficier leurs patients, ensuite sur le volet de la recherche pour offrir à la communauté de chercheurs la possibilité de mener un large panel d'études sur les données collectées de manière homogène. Il constituera ainsi une base de connaissance unique.

Le CAD proposera plusieurs services à la recherche : guichet d'accueil, assistance et conseil à la conception des projets, accès aux jeux de données et aux bibliothèques d'outils, mise à disposition des machines virtuelles, hébergement de données de génomique et associées, outils méthodologiques, rendus d'analyses statistiques, transferts de données.



Les communautés de recherche qui utiliseront le CAD sont : génétique/génomique, systèmes biologiques au niveau moléculaire, pharmacologie, biomarqueurs et tests compagnons, physiopathologie et nosologie des maladies, recherche clinique, épidémiologie, sciences des données, infrastructures et architectures, technologies et ingénierie logicielles, stimulation numérique et modélisation.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Le CAD revêt un enjeu économique majeur, par le développement d'une nouvelle filière industrielle. Le CAD offrira un service unique à destination des industriels des biotechnologies, du diagnostic, de l'industrie pharmaceutique et des industriels du numérique. Cette offre de services est en cours de préparation.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Production annuelle de données : 5 Po

Catégorie : Projet

Type d'infrastructure : monosite

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Bruyères-le-Châtel, Montpellier, Paris

Établissement(s) français porteur(s) : structure juridique publique à personnalité morale

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Franck Lethimonnier

Tutelles/Partenaires : Inserm, CEA, Inria,France Universités, Conférence des Directeurs Généraux de CHRU, Fédération UNICANCER, Groupement de coopération sanitaire SeqOIA, Groupement de coopération sanitaire AURAGEN, MESRI, Ministère des solidarités et de la santé

Site web : https://pfmg2025.aviesan.fr/le-plan/collecteur-analyseur-de-donnees-cad/

Dimension internationale

Projet en cours dans le cadre de l'European 1+ Million Genomes' Initiative. European «1+ Million Genomes» Initiative

Pays partenaires : PT, ES, IT, DE, BE, NL, FI, NO, SE, EE, LT, LV, DK, CZ, HU, SI, LU, GR, HR, CY, AT, BG, MT, UK

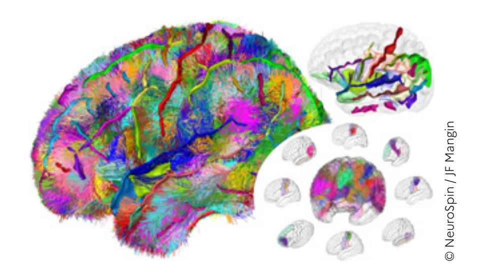
Site internet : https://b1mg-project.eu



EBRAINS-FR

European Brain ReseArch INfrastructureS-France

EBRAINS-FR est le nœud Français de l'infrastructure de recherche Européenne EBRAINS, inscrite sur la feuille de route du Forum Européen des Infrastructure de Recherche, ESFRI, depuis début juillet 2021. EBRAINS est portée par la France, représentée par le Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA). Elle rassemble à ce jour 7 pays Européens, la France, l'Allemagne, l'Italie, l'Espagne, la Norvège, la Suède, la Suisse. La Belgique, le Danemark, les Pays-Bas et le Royaume Uni sont en passe de rejoindre le réseau. EBRAINS a pour mission de faire progresser la recherche dans le domaine des neurosciences computationnelles. Elle émane du programme Européen Human Brain Project. Elle propose donc déjà des services et des outils regroupés en plateformes pour faciliter la recherche sur le cerveau dans les domaines des neurosciences, de la santé (psychiatrie, neurologie, oncologie cérébrale) et des technologies neuro-inspirées, qui seront enrichis au fur et à mesure de sa montée en puissance.



EBRAINS-FR rassemble les laboratoires français experts en neurosciences fondamentales, cognitives et computationnelles, afin de proposer une feuille de route de développement des neuro-technologies, d'informatique bio-inspirée, de modélisation et d'émulation du fonctionnement du cerveau à partir du maximum de données possibles pour obtenir des représentations prédictives, efficaces et utiles à la compréhension des fonctions cérébrales et de ses pathologies.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

EBRAINS et EBRAINS-FR ont l'ambition :

– a) de mettre à disposition des plateformes d'analyse et de modélisation des données ;
– b) de donner accès à des moyens d'analyse et de calcul à une très large communauté scientifique, de neuroscientifiques, de médecins, de spécialistes des sciences de l'information et des interfaces cerveau-machine… ;
– c) soutenir le développement de grands projets en neurosciences pour répondre aux grands défis de Santé.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/HumanBrainProject
- Production annuelle de données : 500 To

Catégorie : Projet
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Gif-sur-Yvette, Marseille 5e
Localisation des autres sites (en France) : Bordeaux, Gif-sur-Yvette, Nantes, Paris 3e, Paris 12e, Paris 13e
Établissement(s) français porteur(s) : CEA

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Philippe Vernier
Année de création : 2021
Année d'exploitation : 2021
Tutelles/Partenaires : CNRS, Inserm, Inria, AMU, Université de Paris, UGA, Université de Nantes, Université Paris-Saclay, UBx, Université Claude Bernard - Lyon 1, Sorbonne Université
Contact en France : Philippe Vernier
Site web : https://ebrains.eu

Dimension internationale

EBRAINS
Responsable : Paweł Świeboda (CEO EBRAINS AISBL)

Pays partenaires : FR, DE, ES, NO, IT, CH, SE
Site internet : https://ebrains.eu

FR Exposome

FRANCE EXPOSOME

La vocation de France Exposome est de produire de la recherche d'excellence visant à une meilleure compréhension des associations entre des expositions chimiques et des évènements de santé. Les cinq plateformes et laboratoires composant Fr-Exposome déploient des approches de mesure visant la caractérisation haut débit de l'exposition interne humaine via des approches ciblées permettant le dosage de composés chimiques connus et des approches exploratoires sans a priori dont l'ambition est d'élargir la connaissance de l'exposome chimique. L'objectif général de Fr-Exposome est de franchir un cap conceptuel, technologique et scientifique afin de participer activement à ce changement de paradigme en cours. Fr-Exposome aspire ainsi à devenir un moteur d'innovation technologique et méthodologique en lien avec des partenaires académiques et privés. Fr-Exposome générera des connaissances fondamentales en lien avec la toxicocinétique pour développer de nouveaux outils de modélisation pour accompagner



© Bruno Le Bizec et Michel Samson

l'interprétation des données, et jouera un rôle majeur dans la formation des utilisateurs et de la nouvelle génération de chercheurs. Fr-Exposome tissera des liens forts avec les infrastructures existantes dans les domaines des bio-collections, du retraitement avancé des données et des outils bio-informatiques. Fr-Exposome interagira et développera des liens avec FRANCE GENOMIQUE, PROFI et METABOHUB permettant à terme d'adresser de façon intégrative cet enjeu majeur de santé publique.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les structures utilisatrices de France-Exposome sont des acteurs publics à l'instar d'agences sanitaires, d'acteurs de la recherche nationale et européenne, des hôpitaux ou encore des cancéropôles. France Exposome sera sollicité par de grandes entreprises nationales évoluant dans le traitement des environnements contaminés pour le suivi de la santé au travail mais aussi par des compagnies internationales spécialistes des technologies de mesure.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 30 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : Projet
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) :
Localisation des autres sites (en France) : Nantes, Paris 6e, Toulouse, Verneuil-en-Halatte
Établissement(s) français porteur(s) : Inserm

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Michel Samson
Année de création : 2021
Tutelles/Partenaires : ONIRIS, EHESP, Université de Paris, INERIS, INRAE
Contact en France : Michel Samson
Site web : www.france-exposome.org

Dimension internationale

EIRENE, ESFRI Project
Responsable : Jana Klanova

Pays partenaires : CZ, SI, AT, IT, NL, GR, SK
Site internet : www.eirene-ri.eu

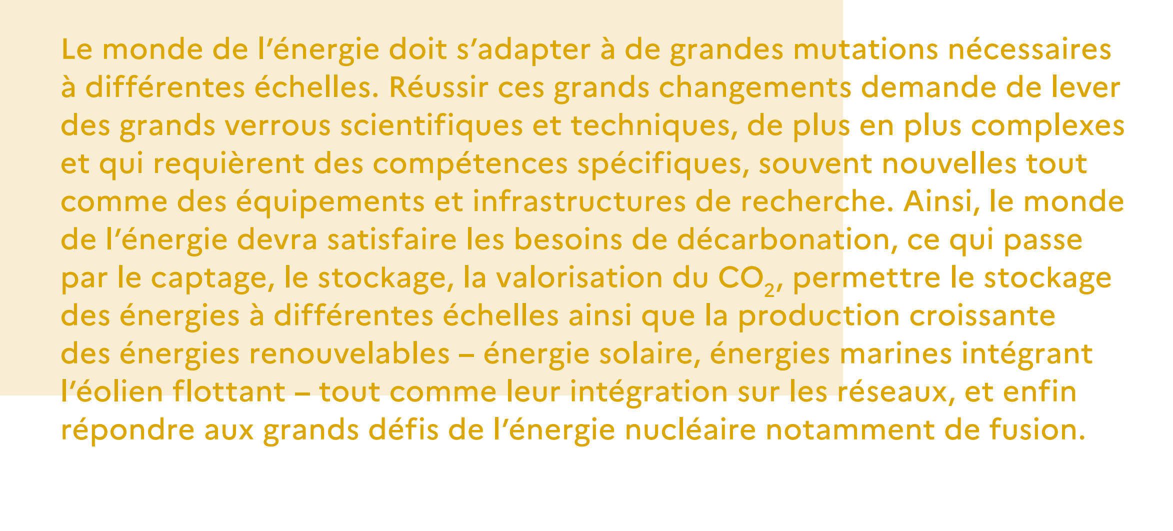




3.

Énergie

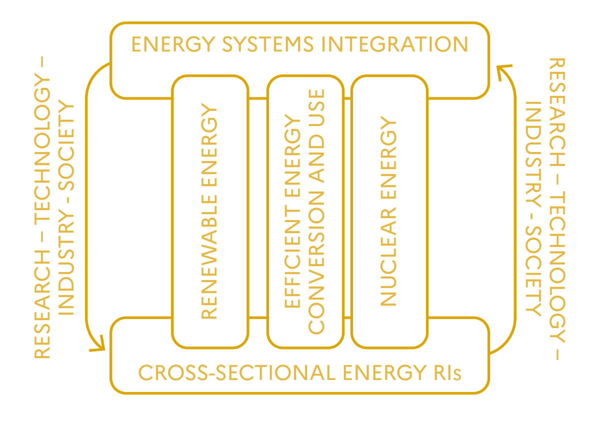
Énergie



Le monde de l'énergie doit s'adapter à de grandes mutations nécessaires à différentes échelles. Réussir ces grands changements demande de lever des grands verrous scientifiques et techniques, de plus en plus complexes et qui requièrent des compétences spécifiques, souvent nouvelles tout comme des équipements et infrastructures de recherche. Ainsi, le monde de l'énergie devra satisfaire les besoins de décarbonation, ce qui passe par le captage, le stockage, la valorisation du CO_2, permettre le stockage des énergies à différentes échelles ainsi que la production croissante des énergies renouvelables – énergie solaire, énergies marines intégrant l'éolien flottant – tout comme leur intégration sur les réseaux, et enfin répondre aux grands défis de l'énergie nucléaire notamment de fusion.

LES GRANDES QUESTIONS SCIENTIFIQUES ET GRANDS DÉFIS SOCIÉTAUX : QUELLES CONSÉQUENCES SUR LES BESOINS ET L'UTILISATION D'INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE

La lutte contre le réchauffement climatique, l'amélioration de la qualité de l'air, la lutte contre la précarité énergétique et l'accès simplifié à l'énergie, la variété du mix énergétique sont autant de challenges à relever dans la perspective d'un développement durable. Ces grands défis structurants représentent dans la grande majorité des cas les lignes directrices élaborées au plan institutionnel soit au travers des directives européennes, notamment celles sur les énergies renouvelables et la mise en œuvre du Green Deal (pacte vert pour l'Europe), soit au niveau national (la Loi de Transition Energétique pour une Croissance Verte (LTECV), le Plan Climat, la Stratégie Nationale de Recherche en Énergie, dans le cadre du PIA4…). Cet ensemble législatif doit permettre un approvisionnement en énergie pérenne et sécurisé avec un impact sur l'environnement réduit, tant à l'échelle locale/territoriale qu'à l'échelle globale. Ainsi, le monde de l'énergie doit satisfaire l'accroissement de la demande au niveau mondial et doit s'adapter aux grandes mutations choisies aux échelons nationaux et territoriaux. Par exemple en France, les trajectoires ciblées par la LTECV doivent conduire à une réduction des émissions de gaz à effet de serre de 40 % en 2030 par rapport à 1990. La défossilisation, la décarbonation du mix énergétique, la diversification des approvisionnements en énergie sont les déterminants cruciaux pour répondre aux grands enjeux climatiques, le XXIe siècle sera donc celui de la transition énergétique. L'abattement significatif des rejets de CO_2, la maîtrise du mix énergétique et de son



intégration dans les réseaux à l'horizon 2050 sont des défis majeurs d'envergure internationale qui conduisent à de très gros besoins en recherche et en équipements spécifiques. Le domaine de l'énergie peut être segmenté en cinq grands domaines : (i) l'intégration des systèmes d'énergie incluant, les réseaux, le transport de l'énergie et son stockage, (ii) les énergies renouvelables : le solaire, l'éolien, la géothermie, les énergies issues de la biomasse, (iii) les énergies marines, (iv) l'efficacité énergétique lors de la conversion et des usages : l'énergie dans les bâtiments et l'industrie, le Power to G, to X, le CCSU, (v) l'énergie nucléaire : fission et fusion, et sans oublier les problématiques transversales comme les matériaux, les données, la simulation et la modélisation.

Les énergies renouvelables

La décarbonation du mix énergétique passe par une montée en puissance des énergies renouvelables intermittentes ou non : énergie solaire photovoltaïque et à concentration, énergie éolienne (à terre, en mer posée ou flottante), énergies marines sous toutes ses formes (énergie des courants, énergie de la houle, énergie des flux et reflux des marées, énergie thermique des mers, énergie osmotique), géothermie, biomasse. Au cours des cinq dernières années, le coût de certaines de ces énergies renouvelables a considérablement diminué, notamment pour l'énergie éolienne onshore, pour le solaire photovoltaïque en raison du développement de concepts nouveaux et plus efficaces ainsi que des économies d'échelle associées au déploiement en forte croissance.

De plus, pour bon nombre des options renouvelables, de nouvelles réductions importantes des coûts peuvent être réalisées par le développement de nouveaux concepts – nouvelles technologies de cellules solaires (tandem, pérovskites...), éolien offshore flottant, performances des turbines (> 15 MW), procédés biotechnologiques pour la conversion des biomasses – là encore par le changement d'échelle du déploiement. Toutefois, ces nouveaux concepts peuvent nécessiter d'importants travaux de recherche et les coûts de développement sont élevés, les connaissances sont dispersées, les marchés sont souvent mondiaux et disposer d'infrastructures de recherche est un facteur de succès. Dans le domaine des énergies renouvelables, plusieurs initiatives ont permis de disposer de ces moyens au niveau européen : Windscanner pour l'énergie éolienne, **EU Solaris** pour l'énergie Solaire à concentration, auxquelles il faut ajouter l'Infrastructure **EU-IBISBA** qui couvre une partie des préoccupations concernant la transformation des biomasses à des fins énergétiques mais dont la vocation est multiple, notamment avec un fort volume pour le domaine Biologie-Santé. Au niveau national, il n'y a pas d'infrastructure pour l'énergie éolienne et la structuration du monde de la recherche, du domaine industriel et la maturité des développements ne font pas apparaître un besoin spécifique. Dans le domaine des énergies solaires, le solaire à concentration revêt un grand intérêt et il n'y a quasiment pas encore d'applications à grandes échelles avec néanmoins de gros besoins expérimentaux. La France est l'un des partenaires de **EU-Solaris** via FR-Solaris et cette participation s'avère importante. De plus, EU-Solaris soutient un dossier d'ERIC avec la France comme partenaire. Dans le domaine de l'énergie solaire photovoltaïque, il n'y a pas à ce jour d'Infrastructure référencée (les grands projets européens n'ont pas conduit à la mise en place d'une IR) mais la France considère qu'il y a un réel besoin pour aider et accompagner toutes les grandes mutations du domaine. De plus, la France dispose via le CEA INES et via l'Institut de la Transition Énergétique IPVF de moyens reconnus et performants pour offrir les moyens expérimentaux adaptés aux futures étapes. ***Envisager la mise en œuvre d'une infrastructure sur ce thème***



en s’appuyant sur ces moyens est à considérer. Dans le domaine des énergies marines, une structuration au niveau européen est en cours avec **Marinerg-i**, pilotée par l’Irlande. La France dispose elle aussi de moyens d’essais structurés en infrastructure de recherche, **l’IR THEOREM** (associant l’ECN-CNRS, l’IFREMER, l’UGE) offrant des moyens importants et pertinents aux grands acteurs du développement des énergies marines mais aussi permettant de traiter de grands verrous associés à l’énergie éolienne flottante. Sa poursuite et son renforcement revêtent un caractère essentiel, tenant compte de la demande croissante de l’énergie éolienne flottante. Dans le domaine de la géothermie, les besoins sont plus diffus et difficiles à identifier. Toutefois, les récents problèmes associés au développement de puits géothermiques pourraient faire émerger des besoins. Une réflexion est à mener, vraisemblablement avec l’infrastructure **ECCSEL** sur ce sujet. Pour les transformations des biomasses à vocation énergétique, le spectre disciplinaire est assez large et repose notamment sur les deux grands domaines que sont les biotechnologies et la chimie/biochimie/thermochimie/biocatalyse/photocatalyse. Concernant le premier volet, tant au niveau européen qu’au niveau national, l’infrastructure **IBISBA-FR** qui est portée par le secteur Biologie – Santé, est structurée pour offrir et permettre l’accès aux communautés de recherche des biotechnologies de disposer des moyens adaptés à la levée des grands verrous scientifiques et technologiques, dans un large éventail d’applications. Concernant le second volet scientifique, il apparait que la production de composants par des filières mettant en œuvre des procédés chimiques, thermochimiques, catalytiques et notamment lorsque l’on cible la photosynthèse artificielle ne peut pas aujourd’hui s’appuyer sur une infrastructure de recherche existante alors qu’un besoin grandissant émerge sur ces disciplines.

ÉNERGIE À CAPTER	IR FRANÇAISE	STATUT	PORTEUR/ PARTENAIRE	IR EUROPÉENNE
Éolienne	Pas de besoins identifiés			Windscanner
Marines (incluant éolien offshore, flottant et posé)	THEOREM	Dans la feuille de route 2018	CNRS-ECN, IFREMER, UGE	Marinerg-i, en préparation
Solaire à concentration	FR-Solaris	Dans la feuille de route 2018	CNRS/Promes	EU-Solaris, projet d’ERIC en cours
Biomasses	Traitement biotechnologies : IBISBA-FR	Dans la feuille de route 2018, portée par le secteur Biologie Santé	INRAE	IBISBA-EU
ÉVOLUTIONS ENVISAGEABLES				
Solaire Photovoltaïque	Pas d’IR actuellement	Réflexion à mener	CEA (1)/IPVF (2)	non
Biomasses	Pas d’IR pour les volets hors biotechnologies	Réflexion à mener	CNRS	non

(1) CEA INES avec Université de Savoie Mont-Blanc
(2) IPVF, ITE associant le CNRS, l’école Polytechnique, Air-Liquide, EDF, Horiba Riber, Total

Une infrastructure de recherche proposant des moyens associés à la chimie/biochimie/thermochimie/biocatalyse/photocatalyse s'avère importante. ***C'est une réflexion à lancer par les énergéticiens en concertation avec leurs homologues des domaines Biologie-Santé et Environnement.***

Le tableau ci-contre présente la situation des infrastructures de recherche existantes et les évolutions possibles en lien avec les énergies renouvelables.

L'efficacité énergétique des procédés, la production d'énergie et les usages

Parmi les grandes préoccupations pour contrôler et réduire les rejets de gaz à effet de serre, on notera les procédés de conversion pour produire de l'énergie tant à partir de combustibles fossiles que de biomasse, la consommation d'énergie des industries énergo-intensives, comme la production de ciment, d'acier, d'ammoniac, de verre pour ne citer qu'eux, l'efficacité énergétique, domaine qui prend désormais beaucoup d'importance ; enfin, le Power to X/Power to Power, un autre domaine qui émerge et pour lequel le périmètre d'impact sur les besoins en infrastructure de recherche est vraisemblablement encore mal évalué. Pour toutes les applications industrielles (énergie et hors énergie), la capture, le transport et le stockage du CO_2 sont la solution à court/moyen terme, pour réduire significativement les rejets de gaz à effet de serre, sans oublier la réutilisation et la valorisation du CO_2. L'infrastructure de recherche européenne **ECCSEL**, pilotée par la Norvège qui a un statut d'ERIC, avec le nœud français **ECCSEL-FR** piloté par le BRGM offre des moyens variés qui correspondent en partie à l'ensemble des besoins des acteurs. En effet, **ECCSEL FR** s'appuie sur six grands organismes (BRGM, IFPEN, ANDRA, INERIS, CNRS, ARMINES) et trois industriels (EDF, Total Energies, Lafarge Ciments) ce qui permet une évolution pertinente et très significative d'**ECCSEL**, notamment pour les études à plus bas TRL et surtout renforce le grand intérêt de cette infrastructure. Pour les applications hors industries et les usages, il est aujourd'hui difficile de cerner les angles d'attaque précis pour des études s'appuyant sur des infrastructures de recherche. En effet, les problématiques sont très diffuses et souvent dépendantes des applications. Pour le moment, il n'a pas été jugé bon de poursuivre les investigations sur ce domaine bien que ce soit un sujet clé. Dans le paysage énergétique futur, le concept PtX est lui aussi appelé à se développer mais dans l'absolu, on peut le définir comme une agrégation de briques technologiques connues pour la plupart d'entre elles : production d'énergie, conversion de l'énergie en hydrogène, stockage de l'hydrogène, réutilisation. En France, par exemple, le projet Jupiter 1000 qui conduit à une étape de démonstration, en est l'illustration. On peut considérer en première approche que le périmètre expérimental est traité ou devrait l'être (cf. discussion sur le stockage de l'énergie et de l'hydrogène). Ces deux derniers challenges sont essentiels et conduiront à l'émergence de nouveaux besoins qu'il faudra traiter.

L'énergie nucléaire

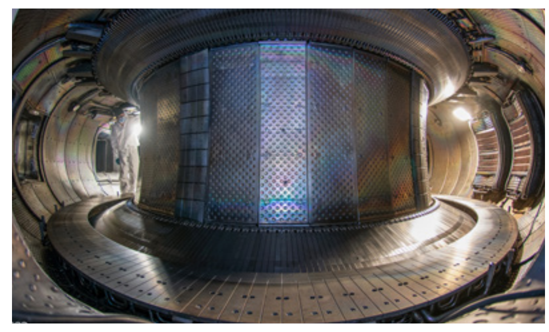
L'énergie nucléaire est reconnue au niveau européen comme une des composantes de la stratégie de la lutte pour le climat. Sa contribution en tant qu'énergie stable et sans émission de gaz à effet de serre est une composante clé pour garantir la souveraineté énergétique européenne.

Cette énergie s'appuie sur deux grands volets : un volet mature, l'énergie de fission qui poursuit ses développements technologiques, et un volet en émergence pour la deuxième partie du siècle basée sur l'énergie de fusion dont l'avenir repose en partie sur le projet International Thermonuclear Experimental Reactor (ITER).



Concernant l'énergie de fission, les principaux objectifs scientifiques et stratégiques en soutien de l'industrie nucléaire sont d'accompagner par la recherche l'exploitation du parc électronucléaire au meilleur niveau de sûreté et de performances, de préparer le renouvellement d'une partie du parc par des réacteurs de nouvelle génération dont le principe doit être arbitré en 2023, et d'instruire au plan scientifique le projet de stockage géologique de déchets radioactifs de haute activité et vie longue CIGEO. S'y ajoute l'évaluation du potentiel des petits réacteurs modulaires (Small Modular Reactors) soit pour contribuer à équilibrer la production et la demande d'électricité en région, soit pour étendre la production nucléaire à la fourniture de chaleur ou d'hydrogène. La question de la prolongation de la vie des réacteurs existants alimente en France comme dans d'autres pays de nombreux projets de recherche sur la tenue des matériaux sous irradiation. Il y a un réel besoin d'outils d'irradiation qui sera partiellement comblé par le futur réacteur français Jules Horowitz en construction (son démarrage étant prévu après 2025) et qui pourrait être complété par la simulation numérique. Les recherches sur la transmutation d'actinides à longue durée de vie, qui suscitent dans certains pays un intérêt pour les systèmes sous-critiques pilotés par accélérateur (*Accelerator Driven Systems (ADS)*), conduisent la Belgique à en prévoir une démonstration de principe par étapes avec le projet MYRRHA sélectionné dans la feuille de route ESFRI.

Concernant la fusion thermonucléaire, le premier réacteur expérimental international (ITER) est actuellement en construction sur le sol français. Ce projet de recherche à long terme a pour objectif d'établir la faisabilité scientifique de la fusion thermonucléaire d'isotopes d'hydrogène par confinement magnétique (contrôle du plasma en situation d'ignition). Son ampleur est extraordinaire par les défis technologiques qu'il représente, par la collaboration


Tore Supra

internationale rassemblée autour de sept grands partenaires (35 pays qui représentent 85 % du produit mondial annuel brut) et par son coût global estimé à plus de 30 Md€. Sa mise en service se fera en deux temps : vers 2025-2027 les premiers plasmas et vers 2035, les premiers essais avec plasma thermonucléaire.

Pour garantir le succès d'ITER, certains verrous technologiques doivent être levés par des projets de recherche en support. Dans ce contexte, l'infrastructure nationale WEST – seul tokamak français – pilotée par le CEA et le CNRS, s'est positionnée pour le choix d'un divertor en tungstène, composant essentiel d'ITER assurant entre autres l'extraction d'une part importante de la chaleur. Ainsi, **WEST** a pour objectif la réalisation de tests de validation à toutes les étapes (design, interactions avec le plasma, comportement en service…).

WEST est une infrastructure de niveau international, présentant un très large spectre de possibilités expérimentales. Elle a fédéré une communauté d'experts nationaux et internationaux et permet d'assurer la formation des futurs spécialistes.

La feuille de route européenne dans le domaine de la fusion est focalisée sur les deux grandes installations ITER et son successeur DEMO qui devrait démontrer la possibilité d'exploiter la fusion pour fournir de l'électricité et permettre ainsi de dimensionner un réacteur industriel.

DEMO est envisagé pour la seconde moitié de ce siècle. Un des enjeux de DEMO, est la qualification des matériaux qui seront soumis à des neutrons de 14 MeV. DONES est un important projet européen d'infrastructure qui permettra de réaliser ces tests.

L'intégration du système énergétique

Le futur système énergétique européen qui verra une forte pénétration des énergies renouvelables, a besoin d'une interaction forte entre les différents transporteurs d'énergie tels que l'électricité, le gaz, le chauffage et le refroidissement, les carburants, les énergies stockées. Un tel système exige le contrôle et l'intégration de la production des énergies renouvelables intermittentes, les variations de consommation, (saisonnières, territoriales…) ainsi que le contrôle du stockage de l'énergie qui deviendra une brique essentielle pour stabiliser les fluctuations de puissance. Ces grands challenges conduisent à développer des réseaux intelligents, tant à grande échelle qu'à l'échelle territoriale ou échelle locale (micro grids), et à mettre en œuvre des moyens de gestion de l'énergie (EMS). Les grands opérateurs de l'énergie sont concernés par ces problématiques de distributions et de flexibilité des réseaux. On peut considérer que d'importants besoins en RDI sont nécessaires pour améliorer les outils d'aide à la décision, pour la gestion des données, la définition d'indicateurs clés, la mise en œuvre de stratégies intelligentes pour répondre à la demande intégrant le stockage de l'énergie, à différentes échelles temporelles. La problématique du stockage devient l'une des clés de voûte de la gestion des réseaux et de l'intégration des énergies intermittentes : le stockage peut prendre différentes formes. En général, sans être exhaustif, le stockage est soit électrochimique, soit gravitaire, soit thermique, soit sous forme d'air comprimé, soit inertiel, soit sous forme gazeuse. Pour cette dernière application, c'est bien souvent par le concept dit du Power to Gaz que l'on agit, en passant par le vecteur hydrogène comme forme à stocker (conversion de l'électricité par électrolyse). Tant au niveau national qu'européen, les stratégies pour développer une industrie des batteries et pour déployer une filière hydrogène sont en place. En termes d'Infrastructure de recherche, le stockage d'énergie, les matériaux, les technologies de production, les piles à combustibles, les batteries et leurs systèmes, des besoins pourront apparaître tant au niveau national qu'européen. Néanmoins, l'émergence de la filière hydrogène au niveau mondial fait apparaître un besoin court/moyen terme sur le stockage de celui-ci à différentes échelles, notamment son stockage sous forme géologique. Dans ce cas, les moyens d'essais et les compétences associées à l'infrastructure ECCSEL sont vraisemblablement à même de répondre aux questions posées (stockage d'hydrogène dans un premier temps et ouverture vers le stockage géologique d'énergie dans un second temps). C'est un point à envisager fortement tant au niveau d'ECCSEL France que d'ECCSEL EU et les récents travaux de l'ERIC ECCSEL montrent que ce volet doit être intégré dans le périmètre. Dans l'état actuel, il n'existe pas d'équipements au sens infrastructures de recherche dédiés plus largement au stockage de l'énergie et comme indiqué précédemment, un manque pourrait se faire rapidement sentir, concernant la production et le stockage de l'hydrogène sous toutes ses formes, tout d'abord, puis le stockage géologique de l'énergie au sens large. ECCSEL peut apporter toutes les réponses à ces grandes questions. Enfin, pour l'ensemble des technologies associées aux batteries des besoins se feront aussi sentir.

Les aspects transverses

Matériaux pour l'énergie : malgré la disponibilité d'un certain nombre de méthodes et d'installations, de plates-formes explicitement dédiées



à la R&D pour les matériaux des systèmes énergétiques, il s'agit d'un domaine en continuelle évolution (nouveaux matériaux, nouvelles contraintes d'applications…) qui demanderont de nouveaux moyens de caractérisation couvrant un large spectre de tailles – de l'échelle atomique à des composants d'ingénierie macroscopiques – et différentes échelles de temps. Il sera aussi particulièrement nécessaire de développer des techniques in situ permettant la caractérisation des matériaux en condition de fonctionnement.

La modélisation et la simulation : le monde de l'énergie va être confronté à de nombreux challenges : flexibilité, multi vecteur, intermittence, stockage… qui auront comme verrou l'intégration. En effet, il s'agira notamment d'intégrer de nouveaux concepts, d'intégrer différentes sources d'énergie sur les réseaux. Toutes ces approches vont conduire à une forte demande en modélisation et en simulation et à un fort recours à l'intelligence artificielle. La connexion avec les infrastructures dédiées à ces problématiques est à opérer.

L'environnement : comme il faut réduire l'impact de la production d'énergie sur l'environnement (qualité de l'air, GES, production de déchets), y compris les questions de sécurité, on établit aisément des liens étroits entre l'énergie et les questions de recherche abordées par les infrastructures du domaine de l'environnement.



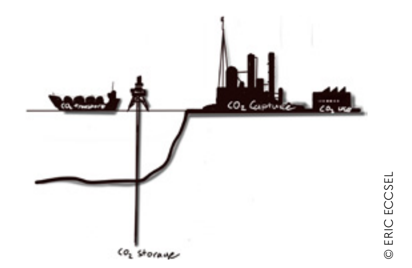
ECCSEL-FR

Infrastructure de Recherche sur le Captage, Stockage et Valorisation du CO_2 (CSCV) et le Stockage Souterrain d'Énergie

Afin de lutter contre le réchauffement climatique, ECCSEL-FR est une infrastructure de recherche consacrée au développement de solutions technologiques permettant de réduire les émissions de CO_2 dans l'industrie et la production d'électricité, ainsi que de retirer du CO_2 de l'atmosphère.

Sa mission principale est d'accélérer le développement des technologies de captage, transport, stockage géologique et valorisation du CO_2 (CSCV, ou CCUS en anglais – CO_2 capture, utilisation and storage). Sa mission s'étend désormais au stockage souterrain d'énergie. Les synergies avec le développement des énergies renouvelables et de l'hydrogène énergie sont également considérées.

Pour cela ECCSEL-FR offre aux chercheurs et ingénieurs du monde entier des sites et bancs expérimentaux de pointe mis à disposition par cinq organismes de recherche (Andra, BRGM, CNRS, IFP Énergies nouvelles, INERIS) et deux industriels



© ERIC ECCSEL

(EDF, TotalEnergies). D'autres organismes s'apprêtent à enrichir l'infrastructure avec d'autres plateformes de recherche (ARMINES/Mines Paris, Lafarge Holcim…).

ECCSEL-FR est le nœud français de l'infrastructure de recherche européenne ECCSEL, qui a le statut d'ERIC. Les cinq pays fondateurs sont la Norvège, qui héberge le siège, l'Italie, les Pays-Bas, le Royaume-Uni et la France.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

ECCSEL-FR noue des relations avec différents acteurs privés et publics de la recherche et de l'innovation. En France ils sont rassemblés au sein du Club CO_2, des pôles de compétitivité AVENIA et AXELERA, des alliances ANCRE et ALLENVI, etc. EDF et TotalEnergies sont deux partenaires privés qui ont souhaité intégrer ECCSEL-FR dès l'origine. LafargeHolcim a engagé les démarches pour faire de même.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Production annuelle de données : 20 To

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Bure, Le Havre, Montpellier, Nancy, Orléans, Pau, Rennes, Rueil-Malmaison, Rustrel, Verneuil-en-Halatte
Établissement(s) français porteur(s) : BRGM

Année de création : 2017
Année d'exploitation : 2017
Tutelles/Partenaires : ANDRA, CNRS, IFPEN, INERIS, EDF, TotalEnergies
Contact en France : Isabelle Czernichowski-Lauriol, i.czernichowski@brgm.fr
Site web : www.eccsel.org

Dimension internationale

ECCSEL, ESFRI landmark
Responsable : Sverre Quale

Pays partenaires : FR, IT, NL, NO, GB
Site internet : www.eccsel.org



FR Solaris

Infrastructure de Recherche française sur le solaire thermique concentré

L'Infrastructure FR-SOLARIS est portée par le laboratoire PROMES : PROcédés, Matériaux & Énergie Solaire, du CNRS. Elle regroupe l'essentiel des moyens de recherche nationaux sur le solaire concentré et constitue un ensemble unique au monde de dispositifs expérimentaux ouverts à la recherche et à l'industrie. Elle permet de travailler dans trois grands domaines :

– caractérisation de matériaux en conditions extrêmes à haute température : l'aérospatial, l'automobile, le nucléaire… ;
– synthèse de nouveaux matériaux ou de revêtements de surface : semi-conducteurs, réfractaires, nanomatériaux… ;
– valorisation de l'énergie solaire : production d'électricité, de carburants de synthèse (hydrogène, syngas…), stockage de l'énergie (thermique, chimique…), hybridation…

L'infrastructure de recherche est basée sur :

– 12 fours solaires de 1 à 1 000 kW, jusqu'à 4 000 °C max ;
– 1 centrale à tour de 5 000 kW ;
– 1 micro centrale solaire cylindro-parabolique de 200 kW avec stockage et turbine ORC.



© Emmanuel Guillot

Ces grands moyens optiques sont appuyés par des mesures en laboratoire et des technologies spécifiquement adaptées : mesure de température optique par pyro-réflectométrie, caractérisation des propriétés thermoradiatives telle que l'émissivité directionnelle spectrale en température, des propriétés chimiques de surface…

Cette infrastructure avec son équipe de chercheurs, ingénieurs et techniciens expérimentés permet des développements depuis les bas TRL jusqu'aux pilotes et prototypes industriels.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

L'Infrastructure FR-SOLARIS est intégrée au monde socio-économique à différents horizons :

– vers le monde de l'éducation, via l'UPVD ou autres (France, Europe, USA…) : visites, stages, formations… ;
– vers l'industrie : contrats de recherche (stages, thèses, prestations…) ;
– vers l'environnement touristique : exposition grand public, journées du patrimoine, fête de la science, panneaux pour les visiteurs…

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 5 To

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Font-Romeu-Odeillo-Via
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Année de création : 1950
Année d'exploitation : 1950
Tutelles/Partenaires : UPVD
Contact en France : Françoise Bataille, francoise.bataille@promes.cnrs.fr
Site web : www.fr-solaris.cnrs.fr

Dimension internationale

EU-SOLARIS, ESFRI project
Responsable : Manuel J. Blanco

Pays partenaires : ES, DE, CY, IT, PT, TR, GR
Site internet : www.eusolaris.eu



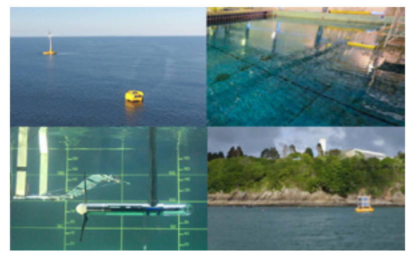
THEOREM

Réseau de Moyens d'Essais en Hydrodynamique pour les Énergies Marines Renouvelables

L'Infrastructure de Recherche THeoREM regroupe un ensemble de moyens d'essais et de compétences de Centrale Nantes, l'Ifremer et l'Université Gustave Eiffel, avec pour objectif d'accompagner les projets de recherche, développement et pour l'innovation des secteurs du génie océanique et de l'ingénierie marine et en particulier le secteur de l'industrie des Énergies Marines Renouvelables.

L'infrastructure distribuée intègre en particulier :

– les moyens d'essais en Hydrodynamique de l'Ifremer et de Centrale Nantes incluant quatre bassins à houle (ECN : Bassin de traction et bassin de génie océanique. Ifremer : Bassin à houle profond et bassin à houle et courant) et deux sites d'essais en mer : le site d'essais à la mer SEM-REV au Croisic (ECN) et la plate-forme d'essais en mer de Sainte-Anne du Portzic (ifremer);



© IFREMER/Dugornay; Centrale Nantes, Université Gustave Eiffel

– les moyens d'essais mécaniques sur fondations et structures de l'Université Gustave Eiffel (Centrifugeuse Géotechnique et banc de fatigue des câbles) et les moyens d'essais mécaniques (moyens d'essais pour les câbles) et hyperbares pour les matériaux et structures en milieu marin de l'Ifremer.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

THeoREM promeut la recherche partenariale entre universitaires, centres techniques et industriels. Ces derniers peuvent avec de la modélisation expérimentale couplée à la modélisation numérique, procéder à une levée de risque, avant de passer à l'étape de déploiement de concepts pré-commerciaux. Au-delà du secteur des Énergies Marines Renouvelables, nos moyens expérimentaux s'adressent à l'offshore pétrolier et au secteur naval.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 10 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://data.ifremer.fr/Deposer-Archiver-des-donnees/SEANOE

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Boulogne-sur-Mer, Nantes, Plouzané
Établissement(s) français porteur(s) : Ifremer, ECN, UGE

Année de création : 2017
Année d'exploitation : 2017
Contact en France : Jean-Marc Daniel, Jean.Marc.Daniel@ifremer.fr
Site web : http://theorem-infrastructure.org/version-francaise

Dimension internationale

marinerg-i

Pays partenaires : IE, ES, PT, UK, DK, NL, DE, FR, IT
Site internet : www.marinerg-i.eu



WEST

W(Tungsten) Environment for Steady-state Tokamaks

WEST est une évolution majeure du tokamak Tore Supra, premier dispositif de fusion par confinement magnétique à réaliser des plasmas de plusieurs minutes à grande puissance. Son objectif primaire est la qualification du divertor d'ITER. À cette fin, une modification importante de la configuration magnétique a été réalisée au moyen de bobines magnétiques dans la chambre plasma et l'installation de composants de divertor tungstène de technologie ITER. Il est également doté d'une instrumentation étendue en particulier grâce à un système de mesure thermographique des composants internes et de mesures du plasma dans la zone périphérique ou pour estimer la contamination du plasma par le tungstène.

Le programme de recherche s'oriente selon les axes suivants :

– la compréhension et maîtrise de l'interaction plasma-paroi en environnement métallique, de l'érosion/redéposition et de la rétention des combustibles du plasma ; le comportement des matériaux soumis à ces conditions extrêmes ; la mesure et interprétation



© C. Roux / CEA

des températures de surface dans des environnements 3D réfléchissants pour permettre une minimisation de leur endommagement ;
– la qualification in situ des technologies de composants face au plasma d'ITER ;
– la qualification des plasmas opérés sur de longues durées, avec en particulier des outils de simulation et de contrôle à développer pour une future utilisation sur ITER. WEST est un des tokamaks du consortium européen EUROFusion et collabore avec d'autres partenaires internationaux.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

WEST génère une activité industrielle propre, liée à son développement (contrats de fourniture d'éléments ou de prestations) et à son exploitation (contrats-cadre surtout). Après la réalisation de ses composants internes génératrice d'une centaine de contrats avec des industriels et prestataires, WEST est entré en 2018 dans sa phase d'exploitation scientifique, pendant laquelle un recours accru à des industriels comme opérateurs est recherché.

Science ouverte et données

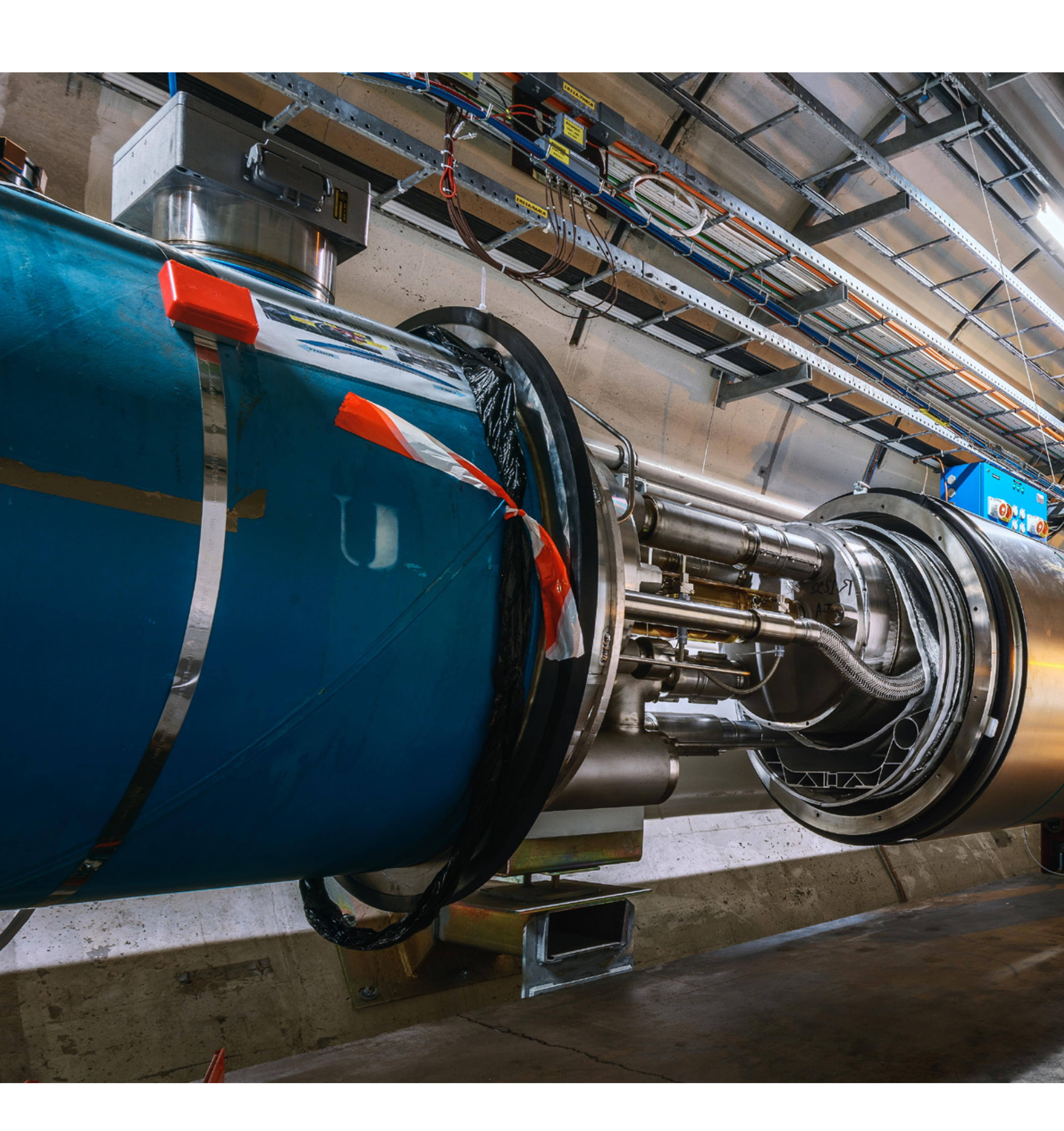
- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Production annuelle de données : 10 To

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Saint-Paul-lès-Durance
Établissement(s) français porteur(s) : CEA

Année de création : 2012
Année d'exploitation : 2018
Contact en France : Jérôme Bucalossi, jerome.bucalossi@cea.fr
Site web : http://irfm.cea.fr

Dimension internationale

Pays partenaires : Consortium EUROfusion

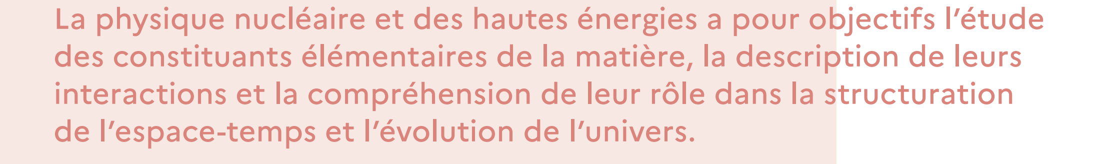


4.



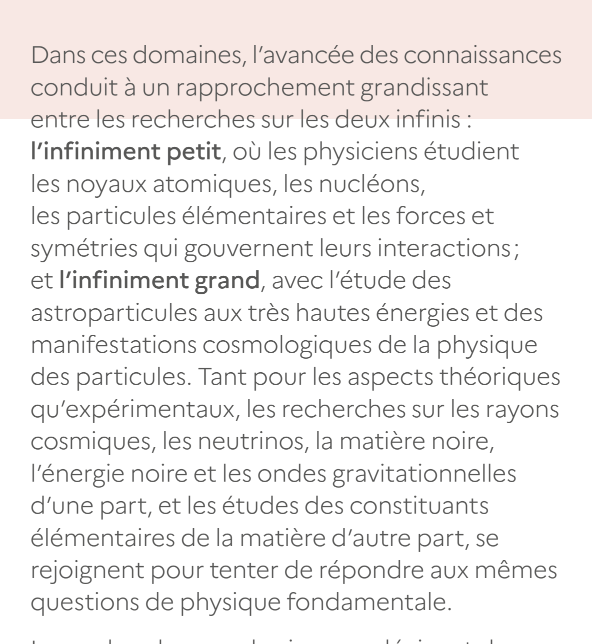
Physique nucléaire et des **hautes énergies**

Physique nucléaire et des **hautes énergies**



La physique nucléaire et des hautes énergies a pour objectifs l'étude des constituants élémentaires de la matière, la description de leurs interactions et la compréhension de leur rôle dans la structuration de l'espace-temps et l'évolution de l'univers.





Dans ces domaines, l'avancée des connaissances conduit à un rapprochement grandissant entre les recherches sur les deux infinis : **l'infiniment petit**, où les physiciens étudient les noyaux atomiques, les nucléons, les particules élémentaires et les forces et symétries qui gouvernent leurs interactions ; et **l'infiniment grand**, avec l'étude des astroparticules aux très hautes énergies et des manifestations cosmologiques de la physique des particules. Tant pour les aspects théoriques qu'expérimentaux, les recherches sur les rayons cosmiques, les neutrinos, la matière noire, l'énergie noire et les ondes gravitationnelles d'une part, et les études des constituants élémentaires de la matière d'autre part, se rejoignent pour tenter de répondre aux mêmes questions de physique fondamentale.

Les recherches en physique nucléaire et des hautes énergies (PNHE) nécessitent **la mise en œuvre d'infrastructures de recherche de grande taille**, construites et exploitées par des collaborations internationales durant plusieurs années voire décennies. Le **CERN** représente à cet égard un exemple emblématique. Créé en 1954 pour redonner à l'Europe sa place dans la science, le **CERN** est devenu non seulement un exemple de collaboration scientifique internationale, un modèle d'organisation pour d'autres projets de coopération européenne – l'ESA a été fondé suivant le même modèle en 1975 – mais surtout le laboratoire leader mondial incontesté dans le domaine de la physique des hautes énergies et des technologies associées : accélérateurs supraconducteurs, détecteurs de particules, traitement massif de données. Le nombre d'utilisateurs du **CERN** est une bonne mesure du leadership acquis par le laboratoire. Ce nombre est passé en une décennie de 5 000 physiciens à plus de 12 500 aujourd'hui, dont 8 000 en provenance de ses 23 états membres. Les physiciens français issus du CNRS, du CEA et des universités représentent pour leur part 10 % des utilisateurs issus des états membres.

Les stratégies, nécessairement européennes voire mondiales, pour les futures infrastructures sont élaborées avec la participation du CEA et du CNRS au sein de comités européens (ESPP pour la physique des particules, APPEC pour la physique des astroparticules et NuPECC pour la physique nucléaire, ECFA pour les futurs accélérateurs et détecteurs associés).

CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET PERSPECTIVES

Physique des particules

La recherche de nouvelles particules et interactions, liées par exemple à la matière noire, est l'une des priorités de la discipline. De façon très complémentaire, l'autre axe majeur d'activités porte sur la métrologie exhaustive et précise des processus déjà observés, notamment dans les secteurs « électrofaible » et de « saveurs », afin d'observer d'éventuelles anomalies par rapport aux prédictions du modèle standard. À cet égard, la découverte du boson de Higgs au **LHC** au **CERN** (prix Nobel 2013) a ouvert une nouvelle ère d'études détaillées des propriétés de cette pierre angulaire du modèle standard qu'est la brisure de la symétrie électrofaible. Le **LHC**, et sa future phase dite

à haute-luminosité (**HL-LHC**) qui sera exploitée jusque vers 2038, reste l'infrastructure de référence pour la discipline au niveau mondial.

À l'achèvement début 2022 de la phase actuelle de jouvence des détecteurs, l'exploitation du **LHC** reprendra pour trois années, doublant la quantité de données collectées. Une mise à niveau de l'accélérateur et de nouvelles améliorations des détecteurs généralistes (expériences ATLAS et CMS) seront ensuite installées afin de démarrer à l'horizon 2027, et pour une dizaine d'années, la phase d'exploitation à haute-luminosité du **LHC**. Cette phase décuplera la quantité de données recueillie, offrant une sensibilité accrue aux tests du modèle standard et à l'observation éventuelle de nouvelle physique. Au vu d'anomalies qui sembleraient émerger dans le secteur des saveurs, une exploitation prolongée de l'expérience LHCb pour toute la phase **HL-LHC** est maintenant envisagée, des jouvences étant nécessaires dans ce cas. Ce secteur des saveurs est également étudié par l'expérience Belle-II auprès de SuperKEKB, l'usine à mésons B au Japon, et dont la prise de données se poursuivra jusqu'en 2031.

La France joue de longue date un rôle majeur dans l'ensemble du programme **LHC**, de la conception et la construction (accélérateurs, détecteurs) à l'exploitation scientifique, ainsi qu'actuellement dans la préparation du **HL-LHC**. Pour l'horizon 2035 et au-delà, la récente **mise à jour de la stratégie européenne en physique des particules** a identifié comme première priorité la physique du boson de Higgs. De par son rôle dans l'évolution de l'univers, le boson de Higgs, seule particule scalaire du modèle standard, recèle encore des mystères qu'une nouvelle machine permettrait d'aborder grâce à des mesures 10 fois plus précises.
Deux architectures, linéaire ou circulaire, sont en lice pour un nouvel accélérateur électron-positron qui pourrait être construit en Asie (linéaire ILC au Japon ou circulaire CEPC en Chine) ou en Europe, où le **CERN** envisage soit une machine linéaire (CLIC), soit une machine circulaire (FCC-ee) dont l'étude de faisabilité devrait livrer ses résultats fin 2025.
Si envisageable, ce *Future Circular Collider* d'une circonférence de 100 km pourrait également servir d'étape vers un projet exploratoire de plus long terme permettant de préserver le leadership européen dans la discipline jusque dans la seconde moitié du XXIe siècle : c'est le projet FCC-hh, collisionneur hadronique avec une énergie sept fois supérieure au **LHC**. Dans ce contexte, un programme soutenu de R&D permettant de développer les technologies nécessaires à un tel accélérateur – comme en particulier les aimants supraconducteurs à haut champ – apparaît comme prioritaire, de même qu'un programme plus amont explorant d'autres techniques d'accélération et pouvant conduire à des propositions alternatives.

Physique hadronique

La physique hadronique traite de l'interaction forte, notamment dans ses aspects les plus complexes, nécessaires pour décrire les objets composites que sont les nucléons tels le proton et le neutron : leur structure, le confinement des quarks et gluons qui les constituent, l'origine de leur masse et de leur spin.

Le **LHC**, comme le futur **HL-LHC**, permettent de produire des collisions d'ions ultra-relativistes propices à une partie de ces études, et cette installation demeurera pour la prochaine décennie le fer de lance pour l'étude du plasma de quarks et de gluons. L'expérience ALICE lui est dédiée, les expériences ATLAS et CMS exploitent également ces données, ainsi que plus récemment l'expérience LHCb dans une double modalité : collisionneur ou cible fixe. Les jouvences en cours du détecteur ALICE permettront son exploitation de 2022 à 2030. ATLAS comme CMS, et possiblement LHCb après les opérations de jouvence, pourraient collecter des données plus longuement. De plus, une proposition



pour un nouveau détecteur à la suite d'ALICE est en préparation – cependant la possibilité de collisions d'ions lourds au **LHC** au-delà de 2030 n'est pas encore actée.

Complémentaire de la physique des ions lourds au **LHC**, le projet EIC (Electron Ion Collider) a récemment été jugé prioritaire par le DOE aux États-Unis, sa construction devant débuter en 2023 à Brookhaven pour un démarrage vers 2030. La machine collisionnera des protons polarisés ou des ions avec des électrons polarisés, à une énergie élevée (20-140 GeV) et à haute intensité, permettant en particulier de mieux comprendre le rôle des gluons dans les nucléons et les noyaux, voire de découvrir un nouvel état de la matière saturée en gluons : le condensat de verre de couleur. La communauté scientifique en France considère avec intérêt le projet, comme suite ambitieuse des importants travaux menés sur la structure des nucléons auprès de HERA à DESY, puis COMPASS au **CERN** et qui se poursuivront jusque vers 2025 auprès de CEBAF à Jefferson Lab.

La matière hadronique riche en baryons, étudiée actuellement à GSI (expérience HADES sur la phase 0 de **FAIR**) et au **CERN** (NA61), pourra l'être après 2027 avec la phase 1 de **FAIR** (CBM), et auprès de NICA à JINR, une possibilité au **CERN** (NA60+) étant envisagée.

Physique et astrophysique nucléaire

Le domaine de la physique nucléaire traverse une période riche de nombreux résultats importants obtenus auprès des installations existantes. Ces résultats ont motivé des efforts très ambitieux dans le monde entier pour la production et l'étude des noyaux exotiques. En plus de RIBF (Radioactive Beam Factory, RIKEN) en opération depuis 2007 au Japon, des installations de grande envergure émergent aux États-Unis (FRIB), en Chine, en Corée du Sud (RAON) et en Russie, accompagnées de leur instrumentation de pointe, et démontrant par-là l'enthousiasme pour de nouvelles découvertes dans le domaine de la physique nucléaire. Le contexte récent de la découverte des ondes gravitationnelles, avec l'ouverture mondiale à une astronomie multi-messager, a rendu encore plus prégnante l'importance de la physique nucléaire dans la compréhension de l'univers et de ses signaux, certains des grands événements cataclysmiques détectés étant le siège de la nucléosynthèse qui permet la création des éléments constituant notre monde.

Dans ce paysage évoluant rapidement, la communauté scientifique française a une feuille de route centrée principalement sur son installation nationale, le **GANIL** à Caen, et sur **FAIR** en Allemagne, toutes deux classées *landmarks* ESFRI, tout en gardant un intérêt pour d'autres infrastructures comme RIKEN au Japon, JINR en Russie ou FRIB aux États-Unis. **GANIL** et **FAIR** exploitent deux méthodes différentes et complémentaires pour produire les faisceaux radioactifs : **FAIR** délivre des faisceaux à haute énergie, loin de la stabilité, mais avec des propriétés optiques de qualité limitée. **GANIL** produit des noyaux moins exotiques, mais qui peuvent ensuite être ré-accélérés en faisceaux d'excellente qualité optique, de forte intensité, à plus basse énergie, pour des mesures de précision.

FAIR, après son démarrage prévu à partir de 2027, aura un potentiel inégalé de découvertes de noyaux exotiques car l'installation délivrera les faisceaux les plus énergétiques par rapport aux autres installations existantes. **GANIL**, qui est en phase de démarrage de son nouvel accélérateur linéaire, verra se déployer dans la prochaine décennie la phase 1 de son projet d'upgrade, **SPIRAL2**. Avec ces nouveaux équipements, des découvertes sont attendues dans le domaine des éléments très lourds et super-lourds, des éléments de masse intermédiaire déficients en neutrons (avec S3 et l'Equipex+ NEWGAIN), des propriétés de l'état fondamental des noyaux exotiques et des tests du modèle standard

(avec DESIR). Les faisceaux de **GANIL/ SPIRAL2** fourniront en particulier des mesures de précisions impossibles à réaliser avec les faisceaux énergétiques de **FAIR**. De plus, les intensités des faisceaux lourds du futur injecteur NEWGAIN pourraient permettre d'envisager, en combinaison avec les équipements construits dans le cadre de S3 et DESIR, des expériences inédites.

Par ailleurs, le programme expérimental avec les faisceaux stables et exotiques produits par les cyclotrons du **GANIL** se poursuit au meilleur niveau grâce à l'intensité des faisceaux accélérés et la qualité des instruments sur site (LISE, VAMOS, ACTAR, INDRA/FAZIA) ou accueillis pour des durées déterminées comme PARIS ou **AGATA**. Enfin, **GANIL** inscrit également son programme scientifique dans des domaines plus immédiatement applicatifs, que ce soit à NFS ou auprès de ses cyclotrons : mesures de données nucléaires et étude des matériaux sous stress irradiant.

Une nouvelle IR pour la physique nucléaire : AGATA

Une des sondes les plus précises du noyau atomique est son rayonnement gamma. **AGATA** est un projet collaboratif européen pour construire, tout en l'exploitant, un nouveau type de multi-détecteur de rayonnement gamma au Germanium ultra pur, basé sur le concept de trajectographie gamma. Cette nouvelle technique est une rupture technologique qui se fonde sur des techniques modernes d'analyse du signal et d'analyse des données, et qui permet un pouvoir de résolution amélioré d'un à deux ordres de grandeur supérieur aux techniques de détection conventionnelles. Cette qualité permet à **AGATA** de révéler la structure du noyau dans des conditions expérimentales extrêmes, que ce soit auprès de faisceaux relativistes (comme à **FAIR**) ou des faisceaux exotiques de plus basse énergie du **GANIL**. **AGATA** sera utilisé dans ces deux infrastructures européennes, illustrant ainsi leur caractère complémentaire. La phase 2 de construction du détecteur fait partie des cinq priorités du Long Range Plan de NuPECC, après la construction de **FAIR** et de **SPIRAL2**, soulignant son fort potentiel de découverte.

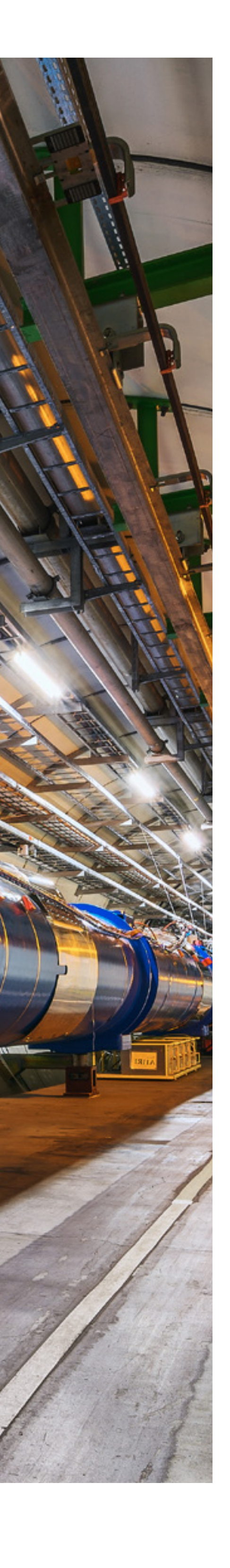
Physique des astroparticules

Les rayons cosmiques, neutres ou chargés, et les ondes gravitationnelles sont utilisés pour étudier les phénomènes violents et de très haute énergie ayant lieu dans l'univers, parfois à des distances cosmologiques. Les lois de la physique fondamentale régissant l'infiniment grand et l'infiniment petit sont testées dans des conditions extrêmes, ouvrant ainsi la voie à des découvertes de nouvelle physique ou de nouveaux objets astrophysiques.

Ondes gravitationnelles

La découverte des ondes gravitationnelles (OG) en 2016 (prix Nobel en 2017) par la collaboration *LIGO-Virgo* a ouvert une nouvelle fenêtre d'observation de l'Univers et apporte des contraintes nouvelles sur les modèles de théorie quantique de la gravitation. Par ailleurs, l'observation par LIGO-Virgo des OG produites par la collision de deux étoiles à neutrons aborde la question de l'équation d'état de la matière nucléaire dans des conditions extrêmes de pression et d'isospin. L'observation concomitante d'émissions électromagnétiques a des implications sur l'astrophysique (nucléosynthèse des éléments plus lourds que le fer, équation d'état de la matière dense) et en cosmologie (mesure indépendante du paramètre de Hubble). Cet événement ouvre de nouvelles perspectives pour la physique des astroparticules multi-messagers de haute énergie, qui étudie les phénomènes violents dans l'Univers.

Le CNRS, l'INFN, et depuis début 2021 Nikhef, construisent et opèrent au sein du consortium **EGO** (European Gravitational Observatory), l'interféromètre **Virgo** situé à Pise en Italie. Avec les améliorations



en cours (**AdvancedVirgo+**), les antennes gravitationnelles **Virgo** et LIGO sont des détecteurs dits de seconde génération. À l'horizon de 2030, ces infrastructures auront bénéficié des améliorations qui les amèneront à la limite de ce qui est faisable avec les dimensionnements et technologies actuelles. Un saut significatif en performance, avec un gain d'un ordre de grandeur en sensibilité pour la détection des OG, nécessite la mise en œuvre d'une 3e génération d'interféromètre. En Europe, un concept novateur, le Einstein Telescope (ET), est développé avec les objectifs suivants :

- les tests de la gravitation et la nature des trous noirs ;
- la cosmologie (nature de l'énergie noire, et théories alternatives de la gravitation) ;
- la physique des supernovæ et des astres compacts (étoiles à neutrons), qui lie l'observation d'OG et celle, par exemple, des neutrinos astrophysiques.

Pour la réalisation d'ET à l'horizon 2030, une phase préparatoire comportant des études de R&D réalisées en partenariat avec **EGO** est en cours de définition.

Dans le domaine spatial, l'observatoire d'OG LISA (Laser Interferometer Space Antenna), mission L3 de l'ESA, devrait apporter à partir de 2032 des mesures complémentaires dans le domaine des basses fréquences par rapport à celles à plus hautes fréquences mesurées par les interféromètres au sol.

La France est l'un des pays leaders dans l'effort mondial de détection des OG, à la fois avec des instruments terrestres et spatiaux. Le Laboratoire des Matériaux Avancés (LMA) situé à Lyon développe notamment une technologie et un savoir-faire unique au monde dans le domaine des couches minces et a ainsi conçu les miroirs de tous les détecteurs d'OG actuellement en fonctionnement (LIGO aux USA, **Virgo** en Europe et KAGRA au Japon).

Rayons cosmiques chargés

L'Observatoire Pierre Auger (**PAO**), couvrant 3 000 km^2 en Argentine, est conçu pour l'étude des rayons cosmiques chargés aux plus hautes énergies (autour et au-delà de 10^{18} eV). Les équipes du CNRS/IN2P3 ont eu des rôles clé dès la conception et la construction de l'observatoire (mis en service en 2008) et ont des compétences et des responsabilités importantes dans son exploitation, dans la production des résultats scientifiques ainsi que dans le projet d'amélioration des détecteurs (AugerPrime) maintenant en opération.

Rayons gamma de très haute énergie

L'observation de l'Univers à haute énergie est complétée par l'astronomie gamma, avec en particulier la construction de l'observatoire **CTA** qui prendra aussi la relève de **HESS** dans la recherche indirecte de matière noire.

HESS est un réseau de cinq télescopes Cherenkov atmosphériques constituant un observatoire de rayonnement gamma à très haute énergie (énergie entre 20 GeV et 50 TeV), déployé en Namibie. **HESS** est doté du plus performant réseau de détection des rayons gamma au sol. Un télescope Cherenkov de 28 m, le plus grand au monde, relève un certain nombre de défis technologiques (précision mécanique, traitement du signal). L'abaissement du seuil en énergie permet une continuité dans le spectre observé avec le satellite Fermi/Glast et une calibration absolue en énergie. Avec la construction de la caméra, la France a pu afficher son leadership dans ce domaine. **HESS** a permis d'importantes avancées en astrophysique des hautes énergies, notamment dans les mécanismes d'émissions des sources galactiques et extragalactiques (supernovæ, pulsars, noyaux actifs de galaxie) et leur cartographie à haute résolution spatiale dans le ciel austral.

CTA est un projet de nouvelle génération de télescope pour augmenter de plus d'un ordre

de grandeur la sensibilité des télescopes actuels de type **HESS**. **CTA** est un réseau de télescopes optiques au sol, utilisant la technique Cherenkov atmosphérique pour les rayons gamma célestes de très haute énergie. Composé de deux sites, dans les hémisphères sud et nord, ce nouvel observatoire atteignant une résolution angulaire de 2 minutes d'arc et couvrant une gamme d'énergie de 30 GeV à 300 TeV, plus large que ses prédécesseurs, devrait répondre à plusieurs questions en physique et astrophysique, comme l'origine des rayons cosmiques, la nature des processus d'accélération de particules dans l'Univers, en particulier autour des trous noirs, et leur rôle dans la structuration du milieu interstellaire, l'exploration de la physique au-delà du modèle standard et notamment l'étude de la matière noire. Le déploiement progressif des télescopes de **CTA** a été lancé en 2018 et sera achevé en 2027.

Neutrinos de très haute énergie

L'expérience IceCube située au pôle sud est un détecteur Cherenkov instrumentant 1 km^3 de glace afin de détecter les sources astrophysiques visibles de l'hémisphère nord émettant des neutrinos dans le domaine d'énergie allant de 100 GeV à 1 EeV. IceCube a ainsi mis en évidence une source diffuse de neutrinos d'origine extragalactique ainsi qu'une première source ponctuelle à l'origine de rayons cosmiques de très haute énergie. Le site **KM3NeT-ARCA** est quant à lui en cours de construction près de Catane en Italie et sera également dédié à l'astronomie neutrino de haute énergie. Ce télescope sous-marin d'un volume d'environ 1 km^3 détectera la lumière Cherenkov émise par les neutrinos cosmique (entre quelques dizaines de GeV et 1 PeV) et fournira des données essentielles sur le ciel visible de l'hémisphère sud, et notamment notre galaxie et le centre galactique.

Physique des neutrinos et matière noire

Suite à la découverte des oscillations de neutrinos (Prix Nobel 2015), les expériences portant sur la physique des neutrinos visent à éclaircir le rôle de cette particule dans la description de l'univers primordial, en particulier en établissant la hiérarchie de masse des trois familles de neutrinos et en mettant en évidence la violation de CP dans le secteur des neutrinos. Des avancées importantes ont eu lieu dans ce domaine dont l'étude expérimentale nécessite plusieurs variétés de détecteurs et de sources (accélérateurs, réacteurs, cosmiques) et dont seule la combinaison permet de contraindre les paramètres d'intérêt avec la précision requise.

Après l'expérience T2K au Japon, des mesures très complémentaires seront effectuées auprès des futures expériences **DUNE** (États-Unis), HyperK (Japon) et **JUNO** (Chine). La France investit majoritairement dans l'expérience **DUNE** portée par le DOE et poursuit également des mesures à partir des neutrinos atmosphériques avec le projet **KM3NeT-ORCA**, en cours de déploiement au large de Toulon, complémentaire du site italien **KM3NeT-ARCA**, dédié à l'astronomie neutrino. On attend de la prochaine génération d'expériences des réponses à des questions expérimentales encore aujourd'hui sans réponse. Il reste possible que les neutrinos soient leurs propres antiparticules, que l'asymétrie matière-antimatière dans l'Univers vienne du fait que la symétrie CP est violée dans le secteur des neutrinos, ou qu'il existe des types aujourd'hui inconnus de neutrinos qui pourraient être une forme de matière noire. Enfin, les neutrinos n'étant pas sans masse, ils ont une signature cosmologique mesurable : les observations du rayonnement de fond cosmologique, les sondages de structures à grande échelle, ou la mesure de l'astigmatisme cosmique en trois dimensions, permettent de poser des contraintes fortes sur la somme des masses des neutrinos légers.

Plus de 95 % du contenu énergétique de l'Univers est dit « noir », c'est-à-dire qu'il n'interagit pas ou très faiblement



avec les champs du modèle standard, et environ un quart du total est constitué de matière noire froide, une forme de matière encore non-identifiée mais qui joue un rôle prépondérant dans la structuration à grande échelle de l'Univers. Les expériences de recherche directe de matière noire de type WIMP (*weakly interacting massive particle*) réclament des niveaux de bruit de fond extrêmement faibles et partagent des caractéristiques techniques avec les expériences de recherche de désintégration double bêta sans émission de neutrino. Elles partagent également le fait d'être installées dans les mêmes laboratoires souterrains : Laboratoire Souterrain de Modane (**LSM**) et Laboratoire National du Gran Sasso (LNGS) en Italie.

Les équipes françaises sont engagées au LNGS dans l'expérience de recherche de matière noire XENON1T, qui fournit actuellement les meilleures limites mondiales dans le domaine de masse 10-1000 GeV. La collaboration XENON poursuit son programme d'augmentation de la taille de leur détecteur TPC (Chambre à Projection Temporelle) à xénon liquide, avec les projets XENONnT en cours et DARWIN pour 2026. L'expérience DarkSide et le projet ARGO, tous deux à base d'argon liquide, sont également des projets attractifs pour les physiciens français. Il est attendu que les détecteurs à base de gaz noble vont garder le leadership dans ce domaine pour les 10 prochaines années. Dans le domaine des plus faibles masses, les contributions françaises ont essentiellement lieu dans les expériences EDELWEISS et DAMIC au **LSM**.

Pour la désintégration double bêta sans émission de neutrino, les physiciens français sont impliqués dans l'expérience SuperNEMO au **LSM**. La nouvelle génération d'expériences cherche à couvrir l'espace des phases de la hiérarchie de masses inversée et une échelle de masse de l'ordre de 20 meV pour le plus léger des neutrinos. Trois technologies (diodes au Ge, bolomètres scintillants et TPC en phase gazeuse) basées sur trois isotopes (76 Ge, 100 Mo, et 136 Xe respectivement) ont été identifiées pour des expériences de l'ordre de la tonne (LEGEND-1000, CUPID et NEXT-HD respectivement). Pour la génération suivante, visant à explorer la hiérarchie de masse directe et des masses de l'ordre de 10 meV, des R&D sont dès à présent lancées et les opérateurs français y tiennent une place importante.

Le Laboratoire Souterrain de Modane, une nouvelle IR pour les études de phénomènes rares

Le **LSM**, en fonctionnement depuis 1982, est situé le long du tunnel routier du Fréjus. Depuis 2020, le **LSM** est une plateforme nationale rattachée administrativement au Laboratoire de Physique Subatomique et Cosmologie (LPSC) ayant comme tutelles le CNRS et l'Université Grenoble-Alpes (UGA). Il est spécialisé dans la mise en œuvre d'expériences recherchant des phénomènes très rares, limités par le bruit de fond provenant de la radioactivité naturelle. Le **LSM**, sous 1 700 m de roche, est le laboratoire souterrain le plus profond d'Europe disposant d'un site expérimental d'une surface de 400 m^2. Les résultats scientifiques obtenus dans les projets installés au **LSM** sont de niveau mondial. Il s'agit notamment de détecteurs démonstrateurs pour la physique de la désintégration double bêta sans neutrino (projets SuperNEMO, CUPID-Molybdène, TGV), de la recherche de la détection directe de matière noire cosmique (projets EDELWEISS, NEWS-G, DAMIC et MIMAC) mais aussi de projets pluridisciplinaires en microélectronique ou en biologie, intégrant les acteurs du secteur économique. Les collaborations dans ces programmes de recherche sont internationales ou nationales. Le **LSM** comporte également une plateforme de spectroscopie gamma offrant une capacité très recherchée de caractérisation radioactive

notamment dans le domaine des géosciences, de la sûreté (IRSN) et de la biologie.

Physique de l'inflation et énergie noire

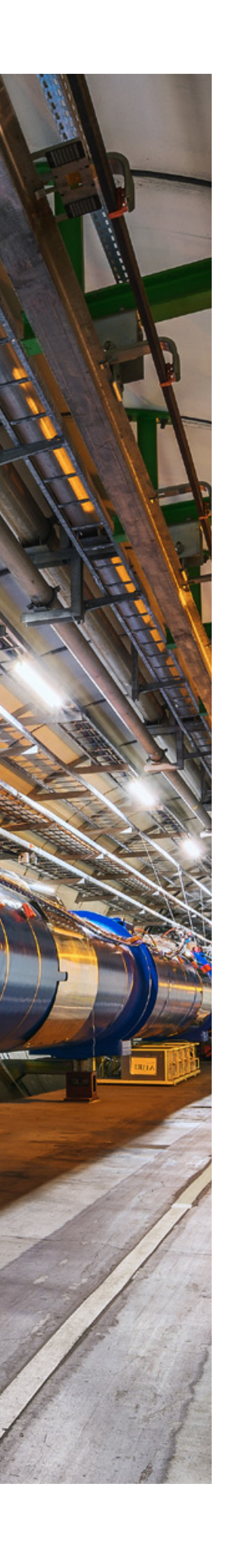
La découverte de l'accélération de l'expansion de l'univers (prix Nobel 2011) et l'amélioration spectaculaire de la précision apportée par la mission Planck sur les mesures du fond diffus cosmologique ont conduit à postuler l'existence d'une énergie noire représentant environ 70 % de la densité d'énergie de notre univers. Les deux principaux projets en préparation sont la mission spatiale EUCLID de l'ESA et le projet *Legacy Survey of Space and Time* (**LSST**) auprès de l'observatoire Vera Rubin qui entrera en opération en 2023 au Chili. Le CNRS/IN2P3 participe à la construction d'éléments clés de l'instrument **LSST** comme la caméra et le changeur de filtres ; la France est ainsi le seul pays Européen ayant une contribution en collaboration avec les équipes américaines du DOE. La France jouera également un rôle central dans le traitement des données de **LSST** au **CC-IN2P3**.

L'étude du fond diffus cosmologique (CMB), initiée par la découverte COBE (prix Nobel 2006), a atteint un état de maturité avec la mission Planck de l'ESA qui a confirmé que nous comprenons la naissance de ces fluctuations à travers la théorie de l'inflation cosmique. Il reste à aller au-delà des descriptions actuelles et à intégrer l'inflation dans une théorie complète des interactions fondamentales. Cela nécessite des efforts théoriques supplémentaires mais aussi un moyen de différencier les modèles. Il est donc important de caractériser davantage les germes de ces fluctuations, notamment en essayant de mesurer la polarisation du CMB associée à la présence d'ondes gravitationnelles primordiales. Les équipes françaises contribuent au projet au sol américain en cours Simons Array et Simons Observatory et à la mission spatiale LiteBird (Japon, JAXA).

Le Centre de Calcul de l'IN2P3

La participation française aux expériences du périmètre PNHE s'appuie sur le Centre de Calcul de l'IN2P3 (**CC-IN2P3**), situé à Lyon. Cette IR dispose de 70 personnels CNRS permanents et fournit les ressources informatiques françaises pour les expériences de physique nucléaire et de physique des particules en proposant le transport, le stockage et le traitement d'énormes quantités de données (jusqu'à des centaines de Peta-Octets).

Le **CC-IN2P3** est un des 13 grands centres de premier niveau de la grille de calcul mondiale, le projet *Worldwide LHC Computing Grid* (W-LCG) coordonné par le **CERN**. Environ 70 % des ressources du **CC-IN2P3** sont ainsi utilisées pour le traitement des données et les simulations du **LHC**. En contrepartie d'un financement des ressources qui leur sont nécessaires, les collaborations internationales dans le domaine des astroparticules et cosmologie peuvent également bénéficier des moyens du **CC-IN2P3**. Depuis 2021, le **CC-IN2P3** est ainsi l'un des deux grands centres de traitement des données du projet **LSST** et disposera d'un jeu complet de données, donnant un avantage majeur aux équipes du CNRS. Il sera également le principal élément du segment sol français de la mission spatiale européenne EUCLID et fournira 30 % des ressources totales. Parmi les collaborations scientifiques internationales qui utilisent les services du **CC-IN2P3** on trouve aussi le **GANIL, EGO, HESS, CTA, PAO, JUNO** et **KM3NeT,** toutes figurant sur la feuille de route nationale des IR ou sur celle de l'ESFRI. À plus long terme, la phase Haute-Luminosité du **LHC** (2027-2038) sera l'enjeu majeur pour le **CC-IN2P3** puisqu'il s'agira de fournir des capacités de stockage et de calcul correspondant à 100 fois celles actuellement utilisées pour les données du **LHC**.



PRINCIPALES PRIORITÉS POUR LES PROCHAINES ANNÉES

Pour les 5 prochaines années, les priorités PNHE en France sont clairement établies. En physique des particules, l'exploitation du **LHC** au **CERN** et le programme de jouvence des détecteurs pour le **HL-LHC** sont les programmes principaux du domaine et continueront de fédérer l'ensemble des physiciens du monde entier. En physique nucléaire, le démarrage de **SPIRAL2** au **GANIL** assurera un programme de physique nucléaire attractif pour les communautés françaises et internationales, et **AGATA** sera crucial pour l'étude de la structure des noyaux dans des conditions expérimentales extrêmes. L'expérience **Virgo** auprès d'**EGO**, avec son programme de jouvence **AdvancedVirgo+**, continuera d'explorer un domaine en plein essor grâce à la détection des ondes gravitationnelles. Dans le domaine des neutrinos, la contribution française au projet **DUNE** aux États-Unis, le démarrage de **JUNO** en Chine et la poursuite de la construction de **KM3Net** en France permettront des recherches essentielles pour la compréhension des particules élémentaires et de leurs symétries. Le démarrage de l'expérience **LSST** permettra d'initier un programme unique pour la compréhension de l'énergie noire et de l'accélération de l'expansion de l'univers. Dans le domaine des rayons cosmiques, **CTA** prendra progressivement la suite de **HESS** pour la détection des rayons gammas de très haute énergie, alors que **PAO** continuera son programme sur les rayons cosmiques chargés d'ultra haute énergie. Finalement, le **LSM**, avec son environnement très bas bruit, restera une infrastructure essentielle pour le développement des expériences de recherche de matière noire tandis que le **CC-IN2P3** continuera à assurer en France le stockage, le traitement et l'analyse de l'essentiel des données du périmètre PNHE, pour lesquels il développera des techniques innovantes en collaboration étroite avec les centres internationaux du domaine.

CONTRIBUTIONS DES OPÉRATEURS DE RECHERCHE ET UNIVERSITÉS

Le domaine PNHE en France compte environ 1 250 physiciens avec un statut permanent, 150 au CEA et 1 100 dans les laboratoires CNRS, essentiellement IN2P3 (dont 400 enseignants-chercheurs). Ces physiciens sont répartis sur 25 laboratoires situés dans les grands centres universitaires. Environ 85 % de ces physiciens sont des expérimentateurs et 15 % sont des théoriciens. Les expériences et infrastructures auxquelles ils contribuent s'appuient sur des ingénieurs et techniciens hautement spécialisés. Au total, ces laboratoires comptent environ 2 000 personnels techniques et administratifs, 1 500 au CNRS et 450 au CEA. À ces chiffres s'ajoutent 1 150 doctorants, post-doctorants et CDD.

ENJEUX TECHNOLOGIQUES

Les recherches en physique nucléaire et des hautes énergies mettent en œuvre des instruments innovants qui sont développés par les laboratoires, la plupart du temps en collaboration avec l'industrie.

Dans le domaine des **accélérateurs de particules**, l'enjeu est la maîtrise des hautes énergies et des hautes intensités qui permettent d'accéder à des phénomènes physiques nouveaux ou rares. Les recherches portent en particulier sur l'amélioration des sources et injecteurs fort courant ainsi que sur l'amélioration des gradients accélérateurs, soit par une meilleure maîtrise des états de surface des cavités radiofréquences supraconductrices soit par des technologies de rupture exploitant par exemple l'interaction laser plasma. Les laboratoires français du domaine PNHE ont développé une importante expertise sur les accélérateurs et sont des acteurs majeurs de la structuration européenne de ce domaine au sein du consortium TIARA. Ce domaine mobilise environ 500 ETP et des infrastructures et

plateformes de classe mondiale, en particulier sur les sites de Saclay, Orsay, Caen et Grenoble. Ce réseau d'infrastructures est aussi utilisé pour la construction d'accélérateurs européens destinés à d'autres communautés, dont, parmi les projets récents, la construction de la source de lumière **E-XFEL**, la construction de l'accélérateur de la source de spallation européenne **ESS** ou la source de neutrons IFMIF-EVEDA pour la qualification des matériaux des tokamaks de fusion.

Dans ce contexte, les **aimants supraconducteurs** constituent clairement un des verrous technologiques pour les futurs projets du **CERN**. Les recommandations du conseil à l'issue de la mise à jour de la stratégie européenne impulsent un large programme de R&D visant à dépasser les limites actuelles des aimants basés sur les conducteurs NbTi ou NbSn. Une feuille de route partagée entre le **CERN** et les laboratoires européens est en cours d'élaboration pour explorer les voies les plus prometteuses en termes de conception et de technologie. La mise en œuvre de cette feuille de route associera largement l'industrie européenne. Ces recherches sur les aimants trouvent des prolongements dans les domaines de l'énergie (aimants de tokamak ou stockage d'énergie) et des sciences du vivant (IRM haut champ).

Enfin, **l'instrumentation innovante** pour la physique nucléaire et des hautes énergies est traditionnellement un des domaines forts des laboratoires français. Il s'agit de répondre aux nombreux défis qu'apportent les expériences menées auprès des grands accélérateurs mondiaux (**CERN, GANIL, FAIR,** Fermilab, J-PARC) ou hors accélérateurs (**EGO-Virgo, CTA, LSST, LSM**). Les enjeux sont de disposer de détecteurs et de chaînes d'acquisition présentant des résolutions accrues en énergie, temps et espace afin de répondre, par une meilleure discrimination, à l'augmentation des intensités des accélérateurs. Il s'agit aussi d'améliorer les sensibilités dans la détection d'évènements rares ou ténus en particulier pour la physique des neutrinos, la détection d'ondes gravitationnelles ou la recherche de la matière noire. L'ensemble des techniques de détection est couvert par les laboratoires français avec des développements à l'état de l'art aussi bien sur les détecteurs eux-mêmes que sur l'électronique de traitement et les chaînes d'acquisition associées. Les prochaines années verront l'émergence des technologies quantiques pour les 2 infinis et des innovations importantes en termes de détecteurs cryogéniques, d'intelligence embarquée sur les détecteurs et d'application de l'intelligence artificielle dans les systèmes de détection.

INTERCONNEXIONS ET INTERFACES AVEC DES INFRASTRUCTURES D'AUTRES DOMAINES

Astronomie et astrophysique

Les faisceaux d'ions sont utilisés non seulement pour la physique et astrophysique nucléaire, mais également pour simuler les rayons cosmiques et pour comprendre certains phénomènes d'astronomie, et d'astrochimie, comme l'interaction des vents solaires sur les couches externes de l'atmosphère, la création de molécules complexes à la surface des météorites et des glaces interstellaires par radiolyse. Ces expériences dans nos laboratoires sont d'importance pour la compréhension des missions spatiales et rassemblent une communauté croissante.

Accélérateurs pour les sciences de la matière

Le CNRS/IN2P3 et le CEA/IRFU développent et construisent des accélérateurs utilisés par d'autres domaines scientifiques. C'est le cas par exemple du laser à électron libre **E-XFEL** en Allemagne, et de l'European Spallation Source **ESS** en Suède, dont les utilisateurs ne sont



pas du domaine PNHE. Les R&D en cours pour les accélérateurs du futur en physique des particules et en physique nucléaire sont essentielles pour le développement des techniques et des technologies des futures sources de lumière ou de neutrons.

Applications énergie, santé et environnement

Du fait de la part importante du nucléaire dans la production électrique, la France se doit de disposer d'une recherche d'excellence en physique nucléaire, afin de contribuer à l'amélioration de la sûreté des installations et du rendement économique de la filière, et de pouvoir être force de proposition sur de nouveaux concepts innovants. Les processus nucléaires d'intérêt pour les applications énergétiques sont étudiés auprès de l'installation NFS sur **SPIRAL2**. Les faisceaux d'ions du **GANIL** sont également utilisés pour des expériences portant sur les matériaux innovants, en amont des recherches sur le vieillissement des matériaux du nucléaire ou du spatial. Le domaine de la santé connait aussi un développement remarquable avec les faisceaux d'ions pour soigner le cancer. Les connaissances sur l'interaction ion-matière dans le milieu vivant acquises auprès des accélérateurs, ainsi que l'instrumentation pour la faisceaulogie et la dosimétrie, sont en plein essor pour définir des techniques innovantes de radiothérapies, et rejaillissent également sur la protection de l'homme et de l'environnement.

DONNÉES ET SCIENCES OUVERTES

Avec la création du *world-wide-web* au **CERN** en 1989, les physiciens des particules ont été parmi les premiers à adopter un modèle science ouverte, partageant les pre-publications (Archives Arxiv et INSPIRE-HEP), et construisant une culture profonde d'utilisation et de partage de logiciels open source. Cette pratique s'est généralisée à l'ensemble des infrastructures du périmètre PNHE. En France, l'importation des publications dans l'archive ouverte nationale **HAL** à partir du système INSPIRE au **CERN** a par exemple été automatisée. Ainsi, l'essentiel des publications issues des infrastructures de recherche du périmètre PNHE sont disponibles en **open-access**.

En règle générale, le modèle d'accès aux données des expériences PNHE permet aux membres des grandes collaborations scientifiques internationales d'avoir un accès exclusif aux données durant une période définie, avant qu'elles soient rendues publiques. Les modèles de calcul et les plans de gestion des données sont sous la responsabilité des collaborations scientifiques internationales. En France, le **CC-IN2P3** est le centre de données et d'analyse du domaine PNHE. Avec les autres centres de calcul internationaux, il permet à l'ensemble des utilisateurs français d'avoir accès aux données de la collaboration scientifique à laquelle ils contribuent.

De par le très grand volume (centaine de pétaoctets par an) et leur complexité, l'accès ouvert aux données est un véritable défi, mais qui s'opère grâce à des plateformes telles que *opendata.cern.ch*. Les données des expériences sont également rendues publiques sous formes de catalogues, d'alerte en ligne instantanée (physique des astroparticules multi-messagers) ou de mise en ligne sur le site *hepdata.net* qui partage ses métadonnées avec l'archive INSPIRE-HEP. Ces données publiées possèdent toutes un identifiant unique.

Enfin, les physiciens et laboratoires du domaine PNHE sont fortement impliqués dans la coordination du programme européen EOSC et jouent un rôle de premier plan dans plusieurs projets clés de l'EOSC, tels que EOSC-Pillar, EOSC-hub, ESCAPE ou EGI-ACE et bientôt EOSC-FUTURE.



Les grands défis scientifiques en physique nucléaire et physique des hautes énergies



CERN

Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire

Le CERN a été créé en 1954 sous l'égide de l'UNESCO par un traité international, la France étant l'un des 12 états européens fondateurs. Il compte aujourd'hui 23 états membres, 10 pays associés, 3 pays observateurs. L'organisation emploie 3 300 personnes, et 12 800 utilisateurs du monde entier (dont 800 issus de laboratoires français) y travaillent régulièrement. Le programme principal est le LHC (Large Hadron Collider) dont le but est l'étude des particules élémentaires et de leurs interactions. Cet équipement unique au monde produit des interactions proton-proton ou ion-ion aux plus hautes énergies, jamais atteintes en laboratoire. L'accélérateur, d'une circonférence de 27 km, est alimenté par un complexe de pré-accélérateurs construits et exploités tout au long de l'existence du CERN. D'autres expériences ont également lieu au CERN : auprès d'ISOLDE pour la physique nucléaire, auprès du décélérateur d'antiprotons pour l'étude des effets de la gravitation sur l'antimatière, auprès de la plateforme neutrinos



© CERN

pour les R&D des futures expériences de ce domaine. Le CERN poursuit également des programmes de R&D en instrumentation et dans les techniques d'accélération. Pour les besoins de sa communauté, il opère des infrastructures de calcul et joue un rôle-clé dans la structuration du sujet en Europe. Suite à la mise à jour de la stratégie européenne, le CERN conduit l'étude de faisabilité d'un éventuel futur très grand collisionneur mondial, le FCC.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Cette science de pointe requiert des innovations technologiques : le CERN et ses partenaires mènent des R&D, forment ingénieurs et techniciens, accompagnent la montée en technicité d'industries. Web, imagerie médicale et proton-thérapie sont des transferts technologiques exemplaires. La France, état-hôte, bénéficie d'un retour industriel et financier important, estimé à 500 millions d'euros par an (rapport 832, Assemblée Nationale, 20/03/2013).

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/cernopendata/opendata.cern.ch
- Production annuelle de données : 100 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://opendata.cern.ch

Catégorie : OSI
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure : Meyrin (CH)
Localisation des autres sites (en France) : Prévessin-Moëns
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS-IN2P3, CEA-DRF

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Anne-Isabelle Etienvre
Année de création : 1954
Année d'exploitation : 1954
Tutelles/Partenaires : MESRI, MEAE
Contact en France : anne-isabelle.etienvre@cea.fr
Site web : https://home.cern/fr

Dimension internationale

Responsable : Fabiola Gianotti (directrice générale du CERN)

Pays partenaires : DE, AT, BE, BG, DK, ES, FI, FR, GR, HU, IL, IT, NO, NL, PL, PT, CZ, RO, UK, RS, SK, SE, CH
Site internet : https://home.cern/fr



CERN LHC

Large Hadron Collider

Le CERN pilote la physique des particules en Europe et opère avec le LHC l'infrastructure mondiale la plus importante dans le domaine de la physique des particules. Le LHC est actuellement le collisionneur de particules opérant aux plus hautes énergies. En quatre points de l'anneau de 27 km de circonférence, des détecteurs géants enregistrent les produits des collisions : ALICE, ATLAS, CMS et LHCb. Après la découverte du boson de Higgs en 2012, les principaux objectifs scientifiques sont maintenant l'étude fine des propriétés de ce boson ainsi que la recherche d'une nouvelle physique au-delà du modèle standard. Une série d'améliorations du complexe d'accélérateurs va permettre d'augmenter l'intensité des faisceaux de particules pour collecter 10 fois plus de collisions intéressantes et atteindre une plus grande sensibilité à des phénomènes rares. Cette phase dite à haute luminosité ou « High-Lumi LHC » débutera en 2027 et se poursuivra pendant une dizaine d'années. Ce nouveau mode opératoire nécessite des jouvences des détecteurs, dans lesquelles les organismes français sont engagés. L'étude du modèle standard et du mécanisme de Higgs et la recherche de nouveaux phénomènes aux plus hautes énergies avec ATLAS et CMS, l'étude de l'asymétrie entre matière et anti-matière et la recherche d'anomalies dans des mesures de précision avec LHCb, ainsi que l'étude du plasma de quarks et de gluons avec ALICE, font partie des défis que le LHC permettra de relever dans les années à venir.



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les industries françaises sont très présentes au CERN et au LHC (62 contrats industriels de plus de 1 MCHF pour un montant total de 645 MCHF lors de la phase de construction du LHC). Près de mille entreprises françaises sont référencées comme fournisseurs du CERN, et les jouvences des détecteurs réalisées dans les laboratoires français font appel à de nombreux sous-traitants français. La France a auprès du CERN un « Industry Liaison Officer ».

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle
- Production annuelle de données : 100 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://dphep.web.cern.ch

Catégorie : IR*

Type d'infrastructure : monosite

Localisation du siège de l'infrastructure : Meyrin (CH)

Localisation des autres sites (en France) : Prévessin-Moëns

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS-IN2P3, CEA-DRF

Directeurs de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Anne-Isabelle Etienvre, Laurent Vacavant

Année de création : 1994

Année d'exploitation : 2008

Tutelles/Partenaires : Aix-Marseille Université, Institut Mines-Télécom, Institut polytechnique de Paris, Sorbonne Université, Université Clermont Auvergne, Université Claude Bernard - Lyon 1, Université Grenoble Alpes, Université de Paris, Université Paris-Saclay, Université Savoie Mont Blanc, Université de Strasbourg, Université Toulouse III - Paul Sabatier

Contacts en France : anne-isabelle.etienvre@cea.fr, vacavant@in2p3.fr

Site web : www.lhc-france.fr

Dimension internationale

ESFRI landmark : HL-LHC

Responsable : Fabiola Gianotti (directrice générale du CERN)

Pays partenaires : plus de 110 pays contributeurs

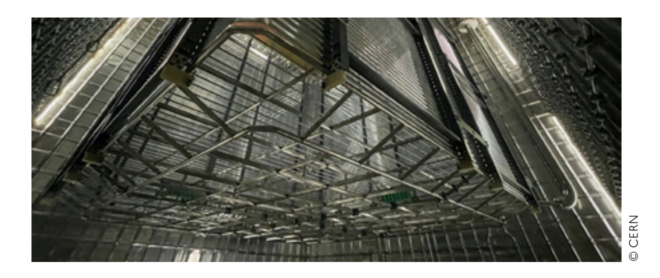
Site internet : https://home.cern/fr/science/accelerators/large-hadron-collider



DUNE / PIP-II

Deep Underground Neutrino Experiment / Proton Improvement Plan II

DUNE est une expérience qui étudiera les neutrinos et la désintégration du proton. Elle est basée sur un faisceau de neutrinos de très haute intensité produit par un accélérateur de protons (PIP-II) en construction à Fermilab (Chicago), ces neutrinos étant étudiés 1 300 km plus loin par des détecteurs à argon liquide de très grandes dimensions. Quatre modules de détection de 10 kt chacun seront enfouis à 1 500 m dans un laboratoire sous-terrain (SURF, South Dakota). Ce projet en phase de construction est un projet majeur du Département de l'Énergie américain, soutenu par le CERN et la stratégie européenne pour la physique des particules. L'expérience DUNE doit démarrer la prise de données en 2028 et être opérationnelle pendant au moins 10 ans. Elle effectuera des mesures de précision des oscillations de neutrinos, qui permettent de déterminer la hiérarchie de masse des neutrinos, la découverte de la violation de CP dans le secteur leptonique et d'autres mesures de précision permettant de contraindre



le secteur des neutrinos. DUNE permettra également l'observation des neutrinos issus de l'explosion de supernovae et la recherche de la désintégration du proton. Toutes ces mesures permettront d'explorer la physique au-delà du modèle standard et d'élucider des problèmes fondamentaux en cosmologie et astrophysique. La France contribue à la construction de l'accélérateur de protons PIP-II et au second module du détecteur lointain.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les contributions françaises à l'accélérateur PIP-II et au détecteur feront appel à des nombreux sous-traitants industriels en France, le retour estimé étant de 70 % de la contribution à l'équipement. La technologie sur laquelle repose les cryostats des quatre modules de détection, financés par ailleurs, est développée par une société française, GTT, leader mondial dans les technologies de confinement pour le transport maritime de gaz naturel liquéfié.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/DUNE/
- Production annuelle de données : 10 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : IR*

Type d'infrastructure : monosite

Localisation du siège de l'infrastructure : Fermilab, Batavia (US)

Établissement(s) français porteur(s) : CEA-DRF, CNRS-IN2P3

Directeurs de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Dario Autiero, Olivier Napoly

Année de création : 2018

Année d'exploitation : 2028

Tutelles/Partenaires : Université Claude Bernard – Lyon 1, Université Grenoble Alpes, Université de Paris, Université Paris-Saclay, Université Savoie Mont Blanc

Contact en France : autiero@ip2i.in2p3.fr, napoly@cea.fr

Site web : www.dunescience.org

Dimension internationale

Responsables : Stefan Söldner-Rembold (porte-parole de la collaboration DUNE), Lia Merminga (cheffe du projet PIP-II)

Pays partenaires : AM, BR, CA, KR, CL, CN, CO, ES, US, FI, FR, GE, GR, IN, IR, IT, JP, MG, MX, PY, NL, PE, PL, PT, CZ, RO, UK, RU, SE, CH, TR, UA

Site internet : www.dunescience.org

EGO-VIRGO

EGO-Virgo

European Gravitational Observatory – Virgo

Le but de l'infrastructure EGO-Virgo est la détection des ondes gravitationnelles (OG). Le détecteur, un interféromètre laser avec des bras de 3 km, est situé près de Pise, en Italie. Il est hébergé et exploité par l'European Gravitational Observatory (EGO), un consortium fondé en 2000 par le CNRS et l'INFN rejoints par NWO/Nikhef en 2021. Virgo est un interféromètre capable de mesurer des variations de longueur de l'ordre d'un milliardième de milliardième de mètre sur 3 km. Les faisceaux lasers sont contenus dans des tubes à vide de 120 cm de diamètre et sont réfléchis par des miroirs (des cylindres de silice fondue de 35 cm de diamètre avec une planéité meilleure qu'un nanomètre) suspendus à des chaînes de pendules en cascade, les « superattenuateurs sismiques ». Virgo fait partie d'un réseau mondial de détecteurs d'OG, qui comprend également LIGO (deux détecteurs aux USA) et KAGRA (au Japon). Les observations des OG (une centaine de sources détectées jusqu'ici) réalisées par ce réseau ont fourni de nombreux


© EGO

résultats scientifiques, comme de nouveaux tests de la relativité générale, de nouvelles mesures de l'expansion de l'Univers, ainsi que des études sur les populations des trous noirs. La détection de la fusion de deux étoiles à neutrons en août 2017 a constitué une nouvelle étape de l'astronomie dite « multi-messager ». Des améliorations de Virgo sont en cours pour augmenter le volume d'univers observé et avoir accès à de nouvelles sources d'OG.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

La construction de Virgo est associée à des R&D et des innovations dans le domaine des lasers, des dépôts de couches minces et en métrologie optique. Plusieurs grandes entreprises françaises contribuent à Virgo. Le Laboratoire des Matériaux Avancés réalise les couches minces optiques des miroirs de Virgo, de LIGO et de KAGRA, mettant la France en position de leader mondial de ces technologies.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://git.ligo.org
- Production annuelle de données : 1 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.gw-openscience.org

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure : Cascina (IT)
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS-IN2P3, CNRS-INP, CNRS-INSU, CNRS-INSIS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Matteo Barsuglia
Année de création : 2000
Année d'exploitation : 2000
Tutelles/Partenaires : Université Savoie Mont Blanc, Université Claude Bernard, Université de Paris, Observatoire Côte d'Azur, Université côte d'Azur, Université Paris-Saclay, Sorbonne Université, Université Claude Bernard, Université Strasbourg, Université Haute Alsace
Contact en France : barsu@apc.in2p3.fr
Site web : www.ego-gw.it/virgodescription/francese/indice.html

Dimension internationale

Responsable : Stavros Katsanevas (directeur de EGO)

Pays partenaires : FR, IT, NL
Site internet : www.ego-gw.it



FAIR

Facility for Antiproton and Ion Research

Le projet FAIR a pour mission de construire et d'exploiter un nouvelle infrastructure de recherche internationale sur les antiprotons et les ions lourds en Europe sur le site de GSI à Darmstadt (Allemagne). Le synchrotron supraconducteur de FAIR, d'une circonférence de 1 100 m, fournira différents faisceaux d'ions légers et lourds. Un dispositif adjacent de cibles de production, de séparateurs, et à plus long terme, un accélérateur linéaire de protons et des anneaux de stockage, fourniront des faisceaux secondaires radioactifs et des faisceaux d'antiprotons. Ces faisceaux de qualité et d'intensités inégalées sont dédiés principalement aux programmes de recherche en physique nucléaire (interaction forte, structure des hadrons, plasmas, champs électromagnétiques très forts...) mais également dans de multiples domaines (science des matériaux et biologie). Les scientifiques sont regroupés en 4 grandes collaborations pour construire les équipements qui seront utilisés sur FAIR : APPA (Atomic, Plasma Physics and Applications),



CBM (Compressed Baryonic Matter), NUSTAR (Nuclear Structure, Astrophysics and Réactions), et PANDA (Anti-proton Annihilation at Darmstadt). Cette infrastructure sera complémentaire de GANIL-SPIRAL2 et de ALICE et LHCb au CERN. Une partie des expériences a déjà démarré dans le cadre de FAIR-Phase 0 sur l'accélérateur existant, SIS18 de GSI, et certains équipements déjà construits par les collaborations expérimentales.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

La France contribue à la construction de FAIR avec des contributions financières et en nature. Ces dernières sont développées dans les laboratoires de recherche en lien avec les industries et compagnies françaises.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.hepdata.net
- Production annuelle de données : 75 Po

Catégorie : IR*

Type d'infrastructure : monosite

Localisation du siège de l'infrastructure : Darmstadt (DE)

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS-IN2P3, CEA-DRF

Directeurs de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Danielle Gallo, Marcella Grasso

Année de création : 2010

Année d'exploitation : 2018

Contacts en France : danielle.gallo@cea.fr, marcella.grasso@admin.in2p3.fr

Site web : https://fair-center.eu

Dimension internationale

ESFRI landmark : FAIR

Responsable : Paolo Giubellino (directeur scientifique de FAIR)

Pays partenaires : DE, FI, FR, IN, PL, RO, RU, SI, SE

Site internet : https://fair-center.eu



GANIL-SPIRAL2

Grand Accélérateur National d'Ions Lourds – Système de Production d'Ions Radioactifs en Ligne de 2e génération

Le GANIL, plateforme de recherche pluridisciplinaire au service de la communauté nationale et internationale, est un laboratoire de recherche fondamentale et appliquée en physique nucléaire, physique atomique, astrophysique et physique de la matière condensée. Le GANIL offre un large éventail de faisceaux d'ions accélérés au moyen de 5 cyclotrons en cascade. Pour la physique nucléaire fondamentale et l'astrophysique nucléaire, il est possible de produire et d'étudier des noyaux qui n'existent pas sur Terre, et dans des conditions proches de certaines conditions stellaires.

Au niveau international, GANIL fait partie des grands laboratoires pour la recherche avec les ions lourds.

SPIRAL2 est une nouvelle installation composée d'un accélérateur linéaire d'ions et de 3 nouvelles salles expérimentales : NFS (Neutrons For Science) qui a produit ses premiers neutrons rapides en 2020 ; S3 (Super Separator Spectrometer) conçu pour étudier des phénomènes très rares grâce aux faisceaux stables de très haute intensité et DESIR, une salle d'expérience pour les noyaux exotiques de basse énergie, qui recevra les faisceaux de SPIRAL1 et de S3 pour les études fondamentales des noyaux et du modèle standard par des techniques de haute précision.



© Guillaume Lescalie, GANIL

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

SPIRAL2 est actuellement en cours de mise en service et l'impact socioéconomique a été estimé pour la construction. Sur les 150 M€ prévus pour la complétion du projet, 89 % sont dépensés en France, 8 % dans les autres pays de l'UE et 3 % hors UE. L'impact socio-économique de l'installation existante comprend des applications industrielles, des sciences de la vie et des transferts technologiques.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de données utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Les données produites par l'infrastructure sont soumises à un plan de gestion des données
- Chaque jeu de données disposent d'un identifiant unique (DOI)
- Production annuelle de données : 1 Po
- Les données sont sous embargo pendant 3 ans avant mise à disposition à la demande

Catégorie : IR*

Type d'infrastructure : monosite

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Caen

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS-IN2P3, CEA-DRF

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Patricia Roussel-Chomaz

Année de création : 1976

Année d'exploitation : 1983

Contact en France : patricia.chomaz@ganil.fr

Site web : www.ganil-spiral2.eu/fr

Dimension internationale

ESFRI landmark : SPIRAL2

Responsable : Patricia Roussel-Chomaz (directrice du GANIL)

Site internet : www.ganil-spiral2.eu



AGATA

Advanced GAmma Tracking Array

L'objectif de la collaboration AGATA est de fournir pour l'étude de la physique nucléaire un instrument de nouvelle génération, capable d'observer des événements rares avec une grande précision. AGATA permettra d'améliorer notre compréhension de l'interaction nucléaire grâce à la mesure des rayonnements gamma émis lors de différents processus nucléaires. Sa haute résolution et sa grande efficacité en font un outil puissant pour sonder les signatures électromagnétiques des différents comportements de la matière nucléaire, ainsi que leur impact sur les processus astrophysiques, les données nucléaires et le cycle du combustible. AGATA fédère une large communauté de 300 chercheurs en Europe. La collaboration Européenne a pour objectif de construire, maintenir et exploiter ce nouveau type de multi-détecteur au Germanium ultra pur, basé sur le concept de trajectographie gamma. Il s'agit d'une rupture technologique qui permet


© Emmanuel Clément

d'accéder à un pouvoir de résolution de un à deux ordres de grandeur meilleur comparé aux techniques conventionnelles. Outil convoité, sa conception permet qu'il soit itinérant afin de l'exploiter auprès des meilleures installations européennes de faisceaux relativistes (comme à FAIR, Allemagne) ou de faisceaux exotiques du GANIL ou du Laboratoire National de Legnaro (Italie) pour des mesures de haute précision.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

La construction et la maintenance des différents éléments du détecteur AGATA (des cristaux de Ge jusqu'aux éléments d'infrastructure) se font en collaboration avec des entreprises Européennes. AGATA est également un outil de formation pour les jeunes ingénieurs et physiciens dans des domaines de haute technologie (électronique, acquisition et gestion de données, algorithmes, physique du solide, physique et astrophysique nucléaire…).

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://gitlab.in2p3.fr/IPNL_GAMMA
- Production annuelle de données : 100 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://cc.in2p3.fr

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Caen

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS-IN2P3, CEA-DRF

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Emmanuel Clément

Année de création : 2003

Année d'exploitation : 2014

Tutelles/Partenaires : GANIL, Université Claude Bernard - Lyon 1, Université Paris-Saclay, Université de Strasbourg

Contact en France : Emmanuel.Clement@ganil.fr

Site web : http://agata.in2p3.fr

Dimension internationale

Responsable : John Simpson (président du comité de pilotage AGATA)

Pays partenaires : DE, BG, ES, FI, FR, HU, IT, PL, UK, SE, TR

Site internet : www.agata.org

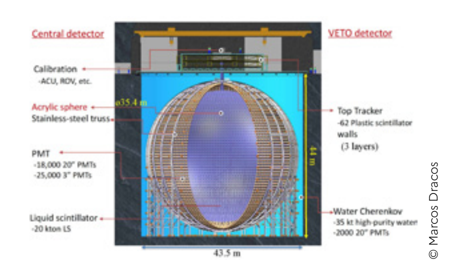


JUNO

Jiangmen Underground Neutrino Observatory

La découverte de l'oscillation du neutrino entre ses différentes saveurs a ouvert une brèche dans le modèle standard, dans lequel les neutrinos sont traités comme des particules de masse nulle. Depuis, plusieurs expériences ont cherché à étudier le phénomène d'oscillation qui régit les questions de hiérarchie de masse entre les différentes saveurs du neutrino.

JUNO est un détecteur de neutrinos de nouvelle génération, qui permettra d'améliorer significativement la précision sur l'étude de ce phénomène, en utilisant le volume le plus important au monde de liquide scintillateur, lu par plus de 40 000 photomultiplicateurs. Le détecteur est situé à Kaiping, en Chine, à 200 km de Hongkong. Le détecteur traquera les anti-neutrinos issus des réacteurs nucléaires de Yangjiang (2 réacteurs EPR de 4,6 GWth) et Taishan (6 réacteurs de 2,9 GWth). Il est enterré à une profondeur de 700 m afin d'être protégé du rayonnement cosmique. En détectant le flux des anti-neutrinos issus des réacteurs, l'expérience permettra de remonter aux paramètres



© Marcos Dracos

d'oscillation entre les différentes saveurs du neutrino, avec une précision encore inégalée pour l'étude de la hiérarchie de masse.

L'expérience pourra aussi avoir un impact sur la nature des géo-neutrinos, des neutrinos issus des supernovae ou des neutrinos solaires. Débutée en janvier 2015, la construction du site expérimental s'apprête à accueillir l'installation du détecteur, conçu et construit par une collaboration internationale, qui opèrera l'expérience dès 2023.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Bien que ce projet s'inscrive dans le cadre de la recherche fondamentale, les relations avec l'industrie sont étroites pour la construction du détecteur, mais aussi pour la phase R&D qui précède cette construction. JUNO participe aussi à la formation d'étudiants provenant des pays participant aux techniques de détection de pointe et à l'exploitation de données de masse.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Production annuelle de données : 3 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure : Jiangmen (CN)
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS-IN2P3

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Marcos Dracos
Année de création : 2014
Année d'exploitation : 2023
Contact en France : marcos.dracos@in2p3.fr
Site web : http://juno.ihep.cas.cn

Dimension internationale

Responsable : Yifang Wang (porte-parole de la collaboration JUNO)

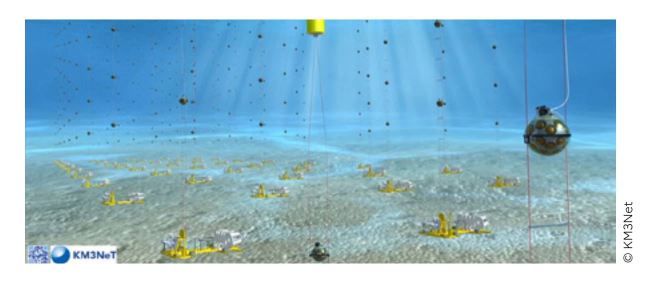
Pays partenaires : CN, IT, DE, RU, FR, TH, CL, FI, PK, AM, BE, BR, CZ, HR, LV, SK, US, TW
Site internet : http://juno.ihep.cas.cn



KM3NeT

Kilometre Cube Neutrino Telescope

Le « Kilometre Cube Neutrino Telescope » (KM3NeT) est un projet européen d'observatoire de neutrinos en cours d'installation en mer Méditerranée. Cette infrastructure est conçue pour détecter la très faible lumière générée par les interactions des neutrinos dans l'eau. Deux sites sont en cours de construction, l'un au large de Toulon en France (Oscillation Research with Cosmics in the Abyss-ORCA), optimisé pour la détection de neutrinos atmosphériques de basse énergie (3 GeV-100 GeV), et l'autre en Sicile (Astroparticles Research with Cosmics in the Abyss-ARCA), optimisé pour les neutrinos cosmiques de grande énergie (1 TeV-10 PeV). ORCA situé à 2 500 m de profondeur sera constitué de 115 lignes flexibles ancrées sur le fond marin espacées de 20 m portant des détecteurs (Digital Optical Modules DOM) distants de 9 m. Un des objectifs majeurs de KM3NeT-ORCA est la mesure de la hiérarchie de masse des neutrinos. Pour KM3NeT-ARCA situé à 3 500 m de profondeur, les espacements sont beaucoup plus larges : 90 m entre les lignes et 36 m entre les DOM. KM3Net prendra la suite de l'expérience ANTARES avec une sensibilité améliorée d'un ordre de grandeur et vise ainsi la découverte et l'étude des sources astrophysiques de neutrinos cosmiques. Ces infrastructures permanentes en mer profonde offrent d'importantes opportunités de synergie avec les Sciences de la Terre, de la Mer et de l'Environnement.



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Dans le cadre du développement et du déploiement de l'infrastructure sous-marine, de nombreux partenariats industriels ont été établis : Alcatel, AIM, Comex, CREDAM, Cybernetix, Degreane, ECA, Euroceanique,Foselev marine, iXSurvey, iXSea, Genisea, Osean, Orange Marine.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/km3net
- Production annuelle de données : 500 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Marseille

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS-IN2P3

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Paschal Coyle

Année de création : 2020

Année d'exploitation : 2020

Tutelles/Partenaires : Aix Marseille Universités, Université de Paris, Université de Strasbourg, Université de Nantes - IMT Atlantique, Université de Caen, Université de Toulon, Université Claude Bernard - Lyon 1, Université Côte d'Azur

Contact en France : coyle@cppm.in2p3.fr

Site web : https://platforms.in2p3.fr/platform/801/details

Dimension internationale

ESFRI project : KM3NeT 2.0

Responsable : Paschal Coyle (porte-parole de la collaboration KM3NeT)

Pays partenaires : FR, ZA, DE, AU, ES, GE, GR, IT, MA, RO, NL

Site internet : www.km3net.org



LSM

Laboratoire Souterrain de Modane

Le LSM (Laboratoire Souterrain de Modane) est une plateforme nationale de recherche du CNRS-IN2P3 dédiée aux projets de recherche fondamentale et aux développements instrumentaux requérant un environnement radioactif exceptionnellement bas. Installé au milieu du tunnel autoroutier du Fréjus, avec une couverture de roche de 1 700 m, le laboratoire dispose d'une cavité de 3 500 m^3 à l'abri du rayonnement cosmique. Une surface d'environ 300 m^2 est dédiée aux installations expérimentales de collaborations scientifiques nationales et internationales à la recherche d'évènements rares. Ce site, le plus profond en Europe à offrir la flexibilité d'un accès routier, accueille actuellement les expériences de recherche de matière noire EDELWEISS, DAMIC-M, NEWS-G et MIMAC, ainsi que les recherches de la double désintégration radioactive sans neutrino SuperNEMO, CUPID-Mo et TGV. Le LSM héberge également un plateau technique de spectrométrie Gamma, constitué de 18 détecteurs Germanium haute pureté. Cette installation, qui permet la mesure précise de très faibles niveaux de radioactivité, est destinée à la sélection et à la validation des matériaux utilisés pour l'élaboration des ensembles de détections des expériences de physique fondamentale mais est également largement ouverte à des équipes scientifiques impliquées sur des thématiques de géosciences et des sciences de l'environnement (radioprotection, datation…).



© LSM

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Le plateau de spectrométrie gamma héberge des instruments de l'IRSN et du CEA dédiés à la sûreté nucléaire et offre des prestations de mesure d'ultra basses radioactivité aux industriels. Les possibilités offertes par l'infrastructure ont mené au dépôt d'un brevet avec l'Institut Pasteur et à la création d'une start-up, Proceltech, qui propose des solutions de protection des cellules souches aux rayonnements ionisants lors de leur stockage.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Production annuelle de données : 1 To

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : monosite

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Modane

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS-IN2P3

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Jules Gascon

Année de création : 1980

Année d'exploitation : 1983

Tutelles/Partenaires : Université Grenoble Alpes

Contact en France : j.gascon@ipnl.in2p3.fr

Site web : http://lpsc.in2p3.fr/index.php/fr/lang-fr-plateforme-nationale-lsm-lang-lang-en-lsm-national-facility-lang



LSST

Legacy Survey of Space and Time

Le Legacy Survey of Space and Time (LSST) est un grand relevé astronomique optique et proche infrarouge qui sera conduit à partir de 2024 et pour 10 ans par l'observatoire Vera Rubin, en construction depuis 2014 au Chili. Il cartographiera l'ensemble du ciel visible 2 fois par semaine, fournissant un film précis de « l'univers dynamique ». Les principaux objectifs scientifiques de LSST sont d'améliorer notre compréhension de l'énergie et de la matière noire, et d'ouvrir une nouvelle fenêtre sur l'étude de l'univers variable. Le volume des données permettra également d'étudier l'ensemble des différentes structures présentes dans l'univers y compris notre système solaire et la Voie Lactée. Sans compétiteur au sol, le LSST est également incontournable pour les programmes spatiaux destinés à l'étude de l'énergie noire tel le satellite Euclid (Projet ESA). Le télescope utilisé, d'un diamètre de 8,4 m, est basé sur un design compact et associé à une caméra dédiée de 3,2 milliards de pixels et couvrant un champ de 9,6° carrés, soit 40 fois le diamètre de la pleine lune. Avec ses plus de 800 poses et 20 To de données produites par nuit, soit environ 60 Po en fin de relevé, le relevé entre dans le champ des Big Data. Les images seront analysées en temps réel et les 10 millions d'alertes astronomiques anticipées seront distribuées avec une latence de 60 secondes. Les catalogues consolidés seront produits une fois par an et mis à disposition pour les analyses.



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les défis scientifiques et technologiques pour le LSST ont entraîné en France des innovations dans les capteurs CCD et leur électronique de lecture, et dans la mesure fine des optiques de grande taille. Les développements dans le domaine des bases de données de grandes tailles ainsi que dans le traitement de grands volumes de données donnent lieu à des partenariats avec des acteurs industriels et dans le domaine de l'intelligence artificielle.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/lsst
- Production annuelle de données : 7 Po

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure : Tucson (US)
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS-IN2P3

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Emmanuel Gangler
Année de création : 2009
Année d'exploitation : 2023
Tutelles/Partenaires : Université Paris-Saclay, Université de Paris, Sorbonne Université, Université de Montpellier, Université Savoie Mont Blanc, Aix-Marseille Universités, Université Grenoble Alpes, Université Clermont Auvergne, Université Claude Bernard - Lyon 1
Contact en France : emmanuel.gangler@clermont.in2p3.fr
Site web : http://lsst.in2p3.fr

Dimension internationale

Responsable : Steve Kahn (directeur de LSST)

Pays partenaires : US, FR, CL
Site internet : www.lsst.org



PAO

Pierre Auger Observatory

L'Observatoire Pierre Auger est une infrastructure performante située dans la pampa Argentine, conçue pour étudier les rayons cosmiques aux plus hautes énergies, autour et au-delà de 10^{18} eV, un domaine d'énergie inaccessible aux accélérateurs. Leur étude est cependant difficile car leur flux est trop faible pour permettre leur détection directe. Ces astroparticules sont donc observées au travers des cascades de particules secondaires qu'elles génèrent dans l'atmosphère, ce qui nécessite des surfaces de détection gigantesques pour collecter un grand nombre d'événements. L'Observatoire Pierre Auger, couvrant 3 000 km^2, détecte les rayons cosmiques sur plus de trois décades en énergie. Il permet de caractériser les gerbes atmosphériques en détectant les particules arrivant au sol, avec un réseau de 1 660 détecteurs autonomes, et la lumière de fluorescence qu'elles produisent dans l'atmosphère, avec 27 télescopes. Sa vaste surface de collection et sa stratégie de détection hybride ont permis des avancées considérables des connaissances


© Steven Saffi

sur les rayons cosmiques jusqu'aux énergies les plus extrêmes. La compréhension de la nature et de l'origine de ces rayons cosmiques reste une question ouverte que l'Observatoire Pierre Auger entreprend de résoudre avec AugerPrime, projet conçu pour améliorer les capacités de caractérisation des gerbes atmosphériques, par l'ajout de détecteurs complémentaires et d'une électronique d'acquisition performante.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

La capacité de formation par la recherche d'étudiants est élevée, avec environ 290 doctorats obtenus à l'international. Le projet AugerPrime a entrainé la fabrication de nouveaux détecteurs et de cartes électroniques, par des entreprises basées en Europe. L'Observatoire Pierre Auger accueille régulièrement sur son site des géophysiciens, et des spécialistes de l'atmosphère, pour des projets d'étude qui ont bénéficié de l'infrastructure existante.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Production annuelle de données : 50 To

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure : Malargüe (AR)
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS-IN2P3

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Corinne Berat
Année de création : 2000
Année d'exploitation : 2000
Tutelles/Partenaires : Sorbonne Université, Université Grenoble Alpes, Université Paris Saclay
Contact en France : berat@lpsc.in2p3.fr
Site web : http://auger.in2p3.fr

Dimension internationale

Responsable : Ralph Engel (porte-parole de la collaboration Pierre Auger)

Pays partenaires : DE, FR, AR, AU, BE, BR, CO, ES, IT, MX, NL, PL, PT, CZ, RO, SI, US
Site internet : www.auger.org





5. Les infrastructures de recherche en sciences humaines et sociales

Les **infrastructures** de recherche en sciences **humaines** et **sociales**



Pour faire face aux défis du xxie siècle et réussir les grandes transitions sociales, économiques et environnementales, bâtir des sociétés plus justes, plus inclusives, plus résilientes et plus durables, il est nécessaire de disposer de connaissances robustes sur le social. Accéder à des données d'enquête sur les croyances, les opinions, le vieillissement, les comportements démographiques, les marchés, est par exemple indispensable pour produire des analyses fondées en science et réduire les incertitudes et les inconnues. Grâce aux innovations technologiques, notamment le tournant numérique, il est possible désormais de stocker, traiter, comparer, diffuser, des données et des documents de nature très diverse, quel que soit le domaine d'étude. Le tournant numérique accélère également l'engagement des SHS dans les pratiques de sciences ouvertes, en améliorant, amplifiant et stabilisant l'accès aux données, sources et documents pour l'ensemble des chercheurs et chercheuses.

Les infrastructures en Sciences Humaines et Sociales répondent par conséquent à la nécessité de fournir à l'ensemble de la communauté scientifique des outils et des services clairement identifiés et facilement accessibles, pour mutualiser les compétences, diffuser des pratiques innovantes, familiariser et former les utilisateurs à de nouveaux instruments et appuyer une recherche fondée sur les meilleures pratiques nationales et internationales. Elles permettent également aux SHS françaises d'être internationalement reconnues, notamment par leur contribution aux bases de données à travers les grandes enquêtes européennes (*SHARE-ERIC, European Social Survey ERIC, CESSDA-ERIC et désormais GGP*), aux services numériques (DARIAH-ERIC) ou à l'EOSC (European Open Sciences Cloud).

Les infrastructures jouent en définitive un rôle de structuration fondamental de la recherche en SHS, quelles que soient les disciplines et les champs thématiques.

Les infrastructures de recherche en SHS se développent depuis une quinzaine d'années, avec un dynamisme et un succès variable.

- Certaines infrastructures sont parfaitement identifiées et utilisées par les communautés SHS (**OpenEdition, Huma-Num**). Dotées d'une gouvernance solide et d'un pilotage scientifique exemplaire, elles ont conduit à des avancées scientifiques considérables dans le champ des données, des humanités numériques, de la science ouverte ou de l'édition. Elles sont des modèles européens.
- D'autres infrastructures doivent encore renforcer leur gouvernance, leur pilotage et leur positionnement scientifique pour atteindre pleinement leurs objectifs (**PROGEDO, E-RIHS-FR, RnMSH**). L'amélioration de leur impact sur les communautés de recherche et la précision de leur périmètre scientifique sont des priorités pour les trois prochaines années.

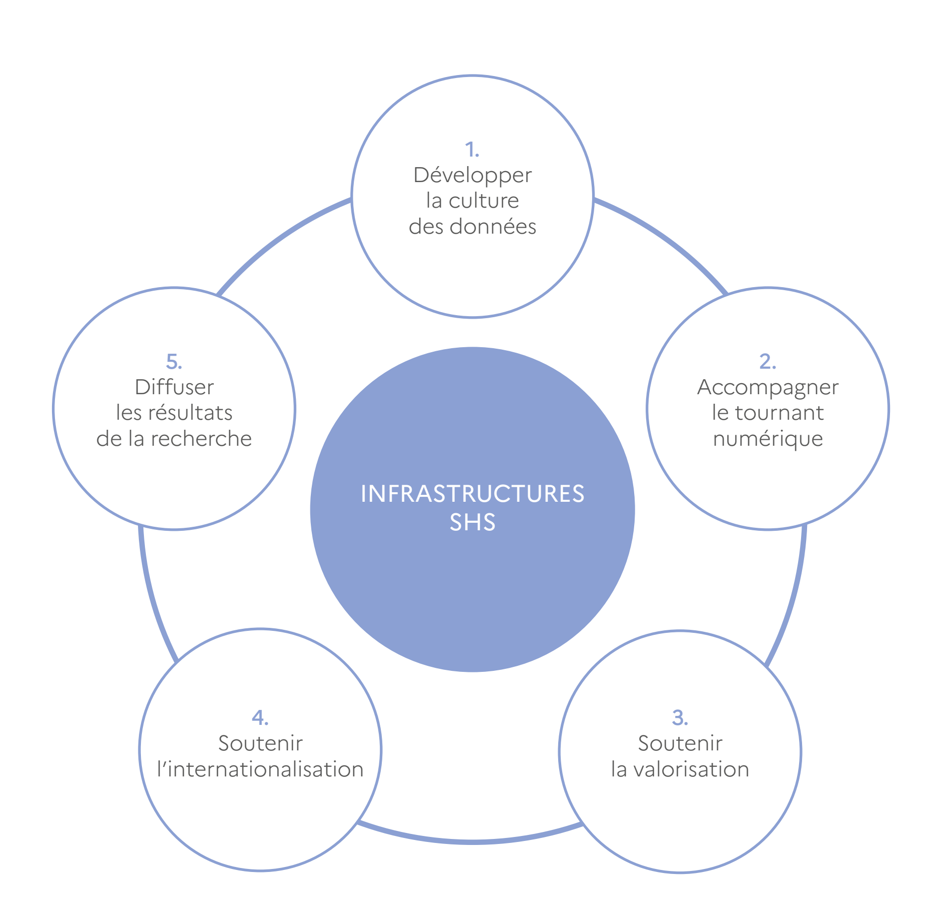
Les infrastructures répondent aux besoins suivants : accessibilités des données, accompagnement du tournant numérique, soutien à la valorisation, soutien à l'internationalisation et soutien à la diffusion.

Aujourd'hui, elles assurent différentes missions :

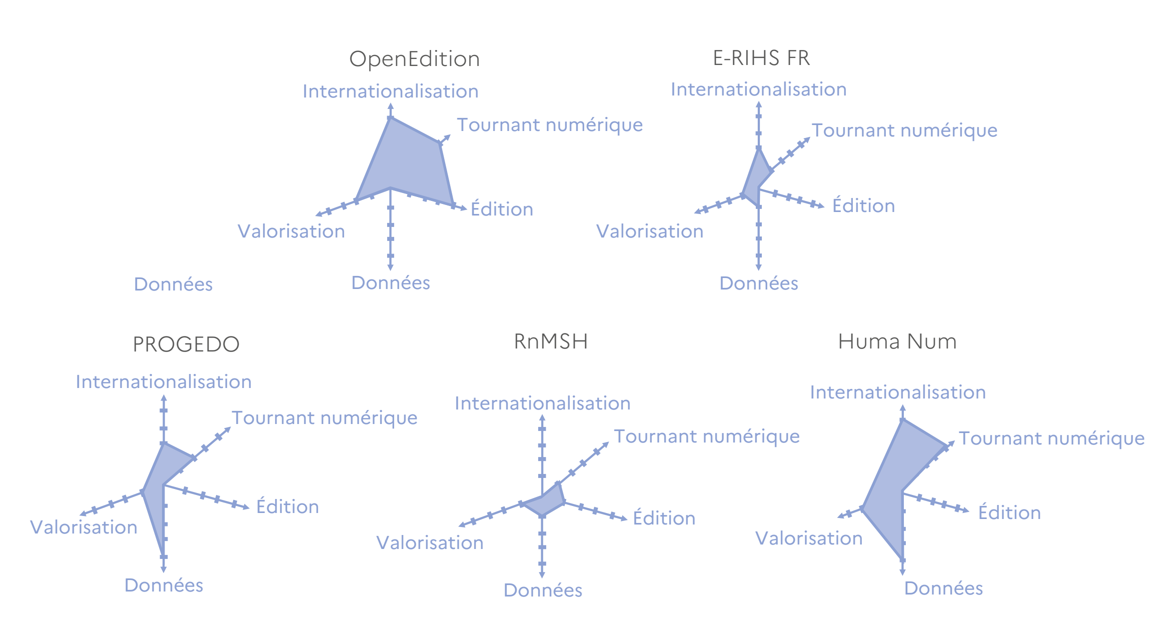
- développement de la culture des données en sciences humaines et sociales (**PROGEDO, Huma-Num, E-RIHS-FR**) ;
- développement des humanités numériques (**Huma-Num, PROGEDO, E-RIHS-FR**);
- développement de l'édition numérique en accès ouvert (**OpenEdition**) ;
- soutien aux sciences du patrimoine (**E-RIHS-FR**) ;
- structuration territoriale des SHS (**RnMSH**) et accès aux IR*.

Enfin, certaines infrastructures sont des nœuds d'infrastructures européennes :

- l'IR* **PROGEDO** soutient les participations françaises à SHARE-ERIC, European Social Survey ERIC, CESSDA ERIC et désormais GGP (ESFRI project);
- l'IR* **Huma-Num** est le nœud de DARIAH-ERIC ;
- **OpenEdition** est le nœud français d'OPERAS (ESFRI project);
- **E-RIHS-FR** est le nœud français d'E-RIHS Europe (ESFRI project).







Analyse du paysage des infrastructures de recherche en SHS actuelles à partir des questionnaires

HUMA-NUM : UNE IR* POUR LES HUMANITÉS NUMÉRIQUES

La démarche d'**Huma-Num** est double : une mise à disposition des données de recherche (ouverture des données, des métadonnées) et une interopérabilité des métadonnées (normalisations, API, interface d'accès aux données). Des guides de bonnes pratiques numériques et de livres blancs, ciblés sur les besoins des programmes de recherche en SHS, sont aussi produits.

Les services et outils numériques de l'IR* **Huma-Num** sont constitués d'un ensemble de technologies d'infrastructure (serveurs) et de systèmes informatiques mis à la disposition des laboratoires et équipes de recherche pour mutualiser, diffuser et stabiliser l'accès aux données et documents.

Les programmes de recherche susceptibles d'utiliser les services et les outils d'**Huma-Num** sont développés *avec et au plus près* des communautés. En 2020, l'IR* estime à plusieurs centaines le nombre d'utilisateurs physiques (500 à 1 000), plusieurs milliers (8 000) celui des producteurs ou utilisateurs des données (8 000) et à plusieurs millions celui des utilisateurs consultant les données et publications.

En 2021, **Huma-Num**, avec le soutien du MESRI, a ouvert trois « Huma-Num Lab », qui sont une expérience pilote associant **Huma-Num** et des Maisons des Sciences de l'Homme.

Le projet scientifique, clair et solide, la gouvernance et le *reporting* **d'Huma-Num** répondent en tous points aux exigences d'excellence d'une IR*. Son rôle de structuration, de formation et d'effet levier pour les communautés est établi. Alors que les humanités numériques ne sont portées ni par une institution, ni par une communauté disciplinaire, **Huma-num** est devenue le modèle d'infrastructure SHS et un champion européen des humanités numériques (avec la coordination du projet européen TRIPLE et le partenariat d'ERIC OPERAS (*Open Scholarly Communication In The Europen Research Area For Social Sciences And Humanities*). L'infrastructure reçoit une large adhésion des communautés SHS.

L'IR* PROGEDO (PRODUCTION ET GESTION DE DONNÉES) : DÉVELOPPER LA CULTURE DES DONNÉES QUANTITATIVES EN SHS

PROGEDO a pour objectif l'appui à la collecte, à la documentation, à la préservation, à la diffusion d'un vaste ensemble de données nécessaires aux disciplines des sciences humaines et sociales. Elle soutient aussi la réalisation et la diffusion de grandes enquêtes européennes.

Sur le plan national, **PROGEDO** s'appuie sur des plateformes de données (PUD) déployées dans les MSH, qui apportent aux utilisateurs une aide technique pour la construction de leurs données et proposent des formations.

PROGEDO est également organisé pour être le canal de financement des engagements de la France aux grandes enquêtes européennes. Ce modèle original permet de regrouper et de gérer sous un même chapeau stratégique les ERIC CESSDA (*Council of European Social Science Data Archives*), ESS (*European Social Survey*), SHARE (*Survey on Health, Ageing and Retirement in Europe*), et GPP (Generations and Gender Program).

Afin de permettre aux SHS d'appuyer les politiques publiques et les acteurs publics ou privés, et d'éclairer plus largement le débat démocratique, **PROGEDO** doit davantage participer à la diffusion, auprès de décideurs ou des agents d'opinion, des résultats de recherche issus du traitement de données et des enquêtes. **PROGEDO** doit aussi amplifier l'accès aux données publiques, grâce à leur anonymisation (ou semi-anonymisation). L'IR* doit enfin anticiper la collecte et la mutualisation de nouvelles données, notamment les données massives (récolte, traitement, représentations…), pour répondre aux défis scientifiques des années futures.

Pour cela, l'IR* peut développer ses relations avec les laboratoires SHS reconnus pour leurs savoir-faire sur les données et les collaborations avec des réseaux existants. Sa visibilité auprès des communautés scientifiques doit être accrue, grâce par exemple aux semaines de formations « DATA SHS », dont le nombre d'utilisateurs est en augmentation significative depuis 2019, et mesurée.

L'importance de la culture des données en SHS confère à **PROGEDO** un rôle national et international stratégique. Pour assurer ses missions, augmenter le nombre de ses usagers, renforcer sa soutenabilité et pérenniser son existence, les priorités de l'IR* sont de préciser son périmètre scientifique, réorganiser en conséquence ses départements et se doter d'indicateurs de suivi robustes.

OPENEDITION : UNE ÉDITION NUMÉRIQUE OUVERTE POUR LES SHS

Infrastructure de recherche nationale depuis 2016, **OpenEdition** est un portail de publication en sciences humaines et sociales développé par **OpenEdition** Center. Initiative publique à but non lucratif, **OpenEdition** a pour mission le développement de l'édition numérique en accès ouvert, la diffusion des usages et compétences liées à la communication scientifique, la recherche et l'innovation autour des méthodes de valorisation et de recherche d'information induites par le numérique. **OpenEdition** comprend quatre plateformes : Revues.org, Calenda, Hypothèses.org, OpenEdition Books.

L'infrastructure est essentielle pour l'édition numérique des SHS. OpenEdition est l'un des acteurs historiques du développement de l'accès ouvert au niveau national et international.

L'IR **OpenEdition** évolue dans un environnement concurrentiel composé d'acteurs privés et publics (par exemple au niveau national Cairn et Persée, au niveau international Erudit, SciELO, Jstor,



OLH, PKP, PLOS ONE, Springer, Elsevier). Par rapport à ces autres acteurs, **OpenEdition** favorise l'accès ouvert en prenant en considération la diversité des structures éditoriales (bibliodiversité) et en développant un modèle économique soutenable, le *freemium*. L'infrastructure a réussi son pari puisque 95 % des contenus diffusés par OpenEdition sont en accès ouvert.

OpenEdition collabore au niveau national avec **Persée, le CCSD, les MSH, Métopes et Huma-Num**. Son modèle de financement est consolidé par des succès importants à des appels à projet nationaux et européens, qui montrent également que le travail d'**OpenEdition** est reconnu par les pairs.

En définitive, l'infrastructure répond pleinement aux objectifs du PNSO (Plan National pour la Science Ouverte). Sa gouvernance, son projet scientifique, sa soutenabilité financière (notamment sa capacité d'auto-financement), son *reporting* et sa visibilité sont exemplaires. Dans les années futures, **OpenEdition** est appelée à renouveler ses logiciels et renforcer ses ressources humaines pour construire un environnement numérique unifié, accessible grâce à une offre de services alliant données et publications. Elle s'appuiera sur les principes FAIR pour proposer de meilleurs services aux communautés scientifiques.

LE RÉSEAU NATIONAL « MAISONS DES SCIENCES DE L'HOMME » (RNMSH)

Les maisons des sciences de l'Homme ont un rôle d'interface territoriale et de soutien aux partenariats entre les universités, le CNRS et les collectivités locales. Leur histoire et leur inscription dans un projet de site font qu'elles sont hétérogènes, qu'il s'agisse de leur taille, leurs missions ou des services qu'elles assurent. Certaines **MSH** aspirent à fédérer les équipes de recherche SHS sur un site, quand d'autres sont des lieux où se construit l'interdisciplinarité avec les sciences non-SHS. Les **MSH** sont également des lieux d'accès pour les infrastructures, en particulier **PROGEDO** – au travers des PUD – et **Hum-Num** (humanum-Lab). Le réseau des **MSH** gère 5 réseaux de plateformes (Scripto, Audio, Data-PUD, Spatio, Cogito). Ces plates-formes sont un levier majeur, qui doit être mieux exploité et renforcé.

Certaines **MSH** jouent un rôle clé dans la mutualisation d'équipements et de services à la recherche. Certaines assurent les fonctions liées à l'édition scientifique. Certaines assurent des missions essentielles de formation des chercheurs, enseignants-chercheurs, doctorants, ingénieurs et techniciens.

L'atteinte de ces objectifs et la consolidation du rôle des **MSH** pour les SHS françaises, en cohérence avec le statut d'IR, doit s'appuyer sur une précision du périmètre d'action et du projet scientifique commun, dans le respect de leur diversité, des spécificités des sites et des dynamiques qui leur sont propres, et des besoins locaux des communautés de recherche. Le potentiel de mutualisation, les atouts d'un fonctionnement différencié, mais en réseau, les avantages de la proximité et de la visibilité qu'elle confère, doivent être pleinement saisis dans les trois prochaines années.

E-RIHS (EUROPEAN RESEARCH INFRASTRUCTURE FOR HERITAGE SCIENCE/FRANCE)

E-RIHS-FR, a été inscrite sur la feuille de route nationale de 2016 sous l'impulsion du ministère de la Culture (MC). C'est avant tout le noeud français du projet d'infrastructure européenne des sciences du patrimoine E-RIHS EU (ESFRI project). Après de nombreux projets H2020 obtenus depuis plus d'une décennie, la commission européenne a validé en novembre 2021 le dossier de « *Step one* » en vue de la création d'un ERIC (à l'horizon 2023 au mieux).

E-RIHS vise l'étude matérielle non-invasive des artefacts patrimoniaux (humains) par mesures physico-chimiques et l'archivage et/ou partage numérique de ces mesures. E-RIHS a pour mission :

- L'analyse de matériaux dégradés et hétérogènes (capacité à isoler, identifier et mesurer leurs composants et leur dégradation) pour les sciences des matériaux.
- L'analyse des collections, leur datation, les modalités de leur dégradation et de sauvegarde, la compréhension des procédés de fabrication des artefacts et l'histoire des aptitudes techniques de leurs producteurs, pour les sciences patrimoniales.
- La FAIRisation, la publication ouverte, l'archivage et la fouille des données (potentiellement) massives produites par ces études, pour les sciences des données.

E-RIHS est un projet unique en Europe et dans le monde, potentiellement vecteur d'un dialogue transdisciplinaire rare entre sciences des matériaux, humanités et numérique. **E-RIHS-FR** est clairement identifié comme une priorité stratégique, mais demande encore de la maturation, pour répondre à toutes les exigences d'une infrastructure et s'adresser à des communautés plus larges. Elle doit donc poursuivre les efforts déjà engagées sur sa structuration et la diffusion de ses données, afin de réaliser tout le potentiel de son projet scientifique.

En conclusion, les objectifs prioritaires des trois prochaines années seront :

1. de restructurer certaines IR, pour les aligner sur de meilleures pratiques en termes de gouvernance, de gestion budgétaire et de pilotage scientifique, et consolider leur soutenabilité et assurer leur pérennité. Il faudra pour cela repositionner et redimensionner le périmètre de certaines infrastructures pour respecter le caractère d'unicité, en clarifiant les objets et missions de chacune pour éviter les redondances ;
2. de créer de nouveaux modules dans certaines infrastructures pour répondre à des évolutions récentes (*big data*, IA, etc.) ;
3. d'augmenter la visibilité et d'élargir l'accès aux chercheurs et aux chercheuses en SHS, pour augmenter le nombre d'usagers. Il sera important de consolider le suivi des infrastructures, notamment par des indications d'utilisation.

En outre, les besoins croissants en matière de valorisation des SHS et de transfert vers le monde non-académique, en particulier pour l'expertise, les brevets et l'aide à la décision, appellent des réflexions sur l'évolution des infrastructures.

Le soutien et l'accompagnement des infrastructures est ainsi un enjeu crucial afin qu'elles puissent mener à bien leurs transformations et optimiser leur impact, notamment en termes d'accès et d'usage pour l'ensemble des chercheurs et chercheuses en SHS.



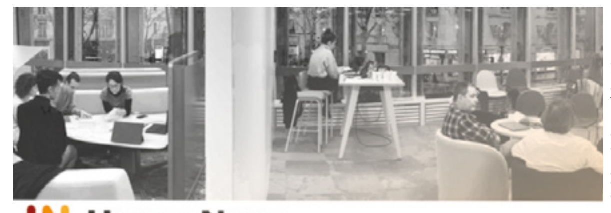
HUMA-NUM

La Très Grande Infrastructure de Recherche des Humanités Numériques

La principale mission de l'IR* Huma-Num est de développer, avec les communautés et à partir d'un pilotage scientifique, une infrastructure numérique de niveau international pour les Sciences Humaines et Sociales. Avec ses consortiums, qui regroupent des acteurs des communautés scientifiques, son réseau de points de présence dans les Maisons des sciences de l'Homme, et son pôle d'appui aux projets, elle accompagne les SHS dans la production, le traitement et la gestion des données de la recherche.

Elle accueille également au sein de l'Huma-Num Lab, des chercheurs et des activités orientés vers la recherche et développement, l'innovation et la valorisation.

Huma-Num dispose d'une infrastructure physique et met en œuvre des services numériques pour développer et préserver sur le long terme les programmes de recherche – leurs données et outils- dans un contexte de Science Ouverte. Ces services, dont l'entrepôt NAKALA et l'assistant de recherche



ISIDORE s'inscrivent dans le cadre de la Science Ouverte et favorisent, outre l'ouverture des données, leur mise à disposition avec un triple objectif de qualité des données et des métadonnées, d'inscription dans un cycle de vie maîtrisé par les scientifiques et enfin de pérennité des données. Huma-Num coordonne la participation française dans plusieurs infrastructures européennes et est impliquée dans des projets associés à la construction de l'EOSC. Elle développe également des coopérations au-delà de l'Europe.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Huma-Num entretient des coopérations et des partenariats avec les industries de la connaissance et celles de la gestion des données. C'est notamment le cas pour les service ISIDORE et pour l'infrastructure de stockage sécurisée, ou dans le cas de projets européens. Sa feuille de route nationale et internationale prévoit un développement rapide de ces coopérations.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://gitlab.huma-num.fr
- Production annuelle de données : 100 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://nakala.fr

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Aubervilliers
Localisation des autres sites (en France) : Villeurbanne
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Olivier Baude
Année de création : 2013
Année d'exploitation : 2015
Tutelles/Partenaires : Campus Condorcet, AMU
Contact en France : secrétaire générale : Ariane Allet ariane.allet@huma-num.fr
Site web : www.huma-num.fr, https://humanum.hypotheses.org

Dimension internationale

ERIC DARIAH, ESFRI landmark

Pays partenaires : FR, AT, CY, DE, DK, HR, IE, IT, LU, MT, NL, PL, PT, RS, SI, BG, GR, CZ, BE
Site internet : www.dariah.fr



PROGEDO

PROduction et GEstion de Données

L'IR* PROGEDO a pour objectif de définir et de structurer une politique publique des données pour la recherche en sciences sociales. Ses missions visent à développer la culture des données, permettre à la communauté de recherche d'utiliser au mieux ces données, intensifier l'usage et mettre à disposition des travaux utiles à la société. Elle soutient la réalisation et la diffusion des grandes enquêtes européennes.

Pour atteindre ces objectifs, l'IR* PROGEDO organise l'appui à la collecte, à la documentation, à la préservation, à la promotion d'un ensemble de données nécessaires aux disciplines des sciences humaines et sociales ayant recours aux méthodes quantitatives. Elle favorise la diffusion de ces données pour la recherche dans un cadre contrôlé conforme à la législation en vigueur, soutient la réalisation d'enquêtes pour la recherche et participe à la mise en place de dispositifs sécurisés d'accès aux données individuelles.



© Sébastien Oliveau

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

L'infrastructure travaille à fournir aux chercheurs des données dont l'usage est légalement restreint à la recherche.

L'infrastructure œuvre à la production des volets français d'enquêtes internationales dont les données sont en accès libres.

Les relations avec le monde socio-économique sont par conséquent limitées car elles ne figurent pas dans les missions de l'infrastructure.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 250 Go
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://datacatalogue.cessda.eu.

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Localisation des autres sites (en France) : Paris
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Sébastien Oliveau
Année de création : 2008
Année d'exploitation : 2008
Tutelles/Partenaires : CNRS
Contact en France : secrétaire générale : Claire Vandemoortele, claire.vandemoortele@cnrs.fr
Site web : www.progedo.fr

Dimension internationale

ERIC CESSDA; ERIC SHARE; ERIC ESS, GGP ESFRI project

Pays partenaires : AT, BE, HR, CZ, DK, FI, DE, GR, HU, IS, IE, NL, MK, NO, PT, RS, SK, SI, SE, CH, GB
Site internet : www.cessda.eu



RnMSH

Réseau national des Maisons des Sciences de l'Homme

Le RnMSH, infrastructure d'interface territoriale et de partenariats entre les universités, le CNRS et les collectivités locales, coordonne un maillage de 22 maisons des sciences de l'homme, instruments de transformation des SHS fondés sur la pluridisciplinarité et l'interdisciplinarité. Il incite à l'incubation et soutient des projets pluri et interdisciplinaires, à dominante SHS, anime cinq réseaux de plateformes (Scripto, Audio, Data-PUD, Spatio, Cogito). Il coordonne des actions autour de thématiques prioritaires, met en œuvre des opérations de valorisation et de diffusion de la recherche scientifique. Les objectifs stratégiques de politique scientifique du RnMSH, inscrits dans une charte sont d'entraîner une large partie du dispositif ESR des 22 sites vers les pratiques les plus innovantes en partageant les expériences. Lieux d'ancrage sur les territoires des IR* Huma-Num et PROGEDO principalement, et des autres infrastructures comme Métopes et OpenEdition,


© Samuel Jan

les MSH et leur réseau contribuent, en lien avec ces IR*, à effectuer le tournant numérique, dans le cadre du développement de la science ouverte et de la culture des données. Le RnMSH participe à l'évolution des métiers et à leurs organisations tant au niveau de la recherche que de l'ingénierie et à renforcer les interfaces au niveau des territoires avec la société civile et les collectivités territoriales.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Par le biais d'actions de recherche participative, ou par l'intermédiaire de ses réseaux de plateformes, les MSH et leurs réseaux co-construisent des projets de recherche avec des acteurs territoriaux (associations, structures publiques, sociétés privées). Les MSH sont porteuses de différents dispositifs permettant ces recherches comme les boutiques des sciences ou les observatoires. Elles développent des expertises scientifiques reconnues.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 250 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.nakala.fr

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris

Localisation des autres sites (en France) : Aix-en-Provence, Besançon, Bordeaux, Caen, Dijon, Faaa, Gif-sur-Yvette, Lille, Lyon 7e, Montpellier, Nancy, Nanterre, Nice, Poitiers, Rennes, Saint-Denis, Saint-Martin-d'Hères, Strasbourg, Toulouse, Tours

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, FMSH

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Paul Buléon, Gilles Pollet et Nicolas Thély

Année de création : 2006

Année d'exploitation : 2006

Tutelles/Partenaires : Université de Tours, Université de Lille, Université Lumière - Lyon 2, Université de Lorraine, Université Rennes 2, université Poitiers, université de Clermont Auvergne, université Paris Saclay, Université Sorbonne Paris Nord, Université Paris 8 - Vincennes - Saint-Denis, UFC, UBM, Université de Strasbourg, UGA, UT2, Université Paris 1 - Panthéon Sorbonne (Paris 1), Université Paris Nanterre, UNICAEN, Université Paul-Valéry - Montpellier 3 (UPV), UB, UCA, AMU, Université de Nantes, UPF

Contact en France : Secrétaire générale : Myriam Danon-Szmydt, myriam.danon@cnrs.fr

Site web : www.msh-reseau.fr/presentation

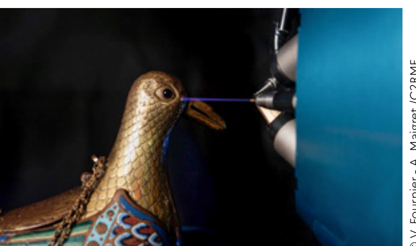


E-RIHS France

European Research Infrastructure for Heritage Science – France

E-RIHS France cherche à faciliter la pratique des sciences du patrimoine et à améliorer son impact en favorisant la recherche, le développement de meilleures technologies et l'aprofondissement des compétences scientifiques. Nœud français de l'infrastructure européenne E-RIHS, E-RIHS France regroupe des infrastructures de plusieurs disciplines et fournira un accès intégré à des équipements, de l'expertise, des ressources et des technologies à travers une approche standardisée qui favorise l'excellence scientifique et une culture de collaboration pluridisciplinaire. Ces accès seront organisés autour de quatre plateformes thématiques :

– FIXLAB : accès à des équipements fixes permettant des analyses synchrotron, par faisceaux d'ion, lasers, etc. ;
– ARCHLAB : accès au réseau d'archives scientifiques de musées et d'institutions culturelles ;
– MOLAB : accès à des équipements mobiles permettant l'étude de matériaux in situ ;
– DIGILAB : accès à des données et outils numériques.


© V. Fournier - A. Maigret /C2RMF

L'ambition d'E-RIHS est d'utiliser son statut international et son identité claire pour devenir une force de cohésion dans la communauté internationale des sciences du patrimoine. Cette position unique lui permettra de promouvoir sa vision scientifique et les valeurs qui lui sont attachées : l'excellence scientifique, la collaboration européenne et internationale, l'innovation, la communication et le respect de l'éthique scientifique.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les sciences du patrimoine sont un domaine de recherche qui couvre à la fois les sciences humaines et sociales et les sciences expérimentales. Sa pratique requiert donc la bonne collaboration des industries culturelles et créatives (institutions patrimoniales, professionnels de la conservation-restauration, etc.) avec les différents acteurs de la recherche et de l'innovation, qu'ils soient issus du secteur public ou du privé.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

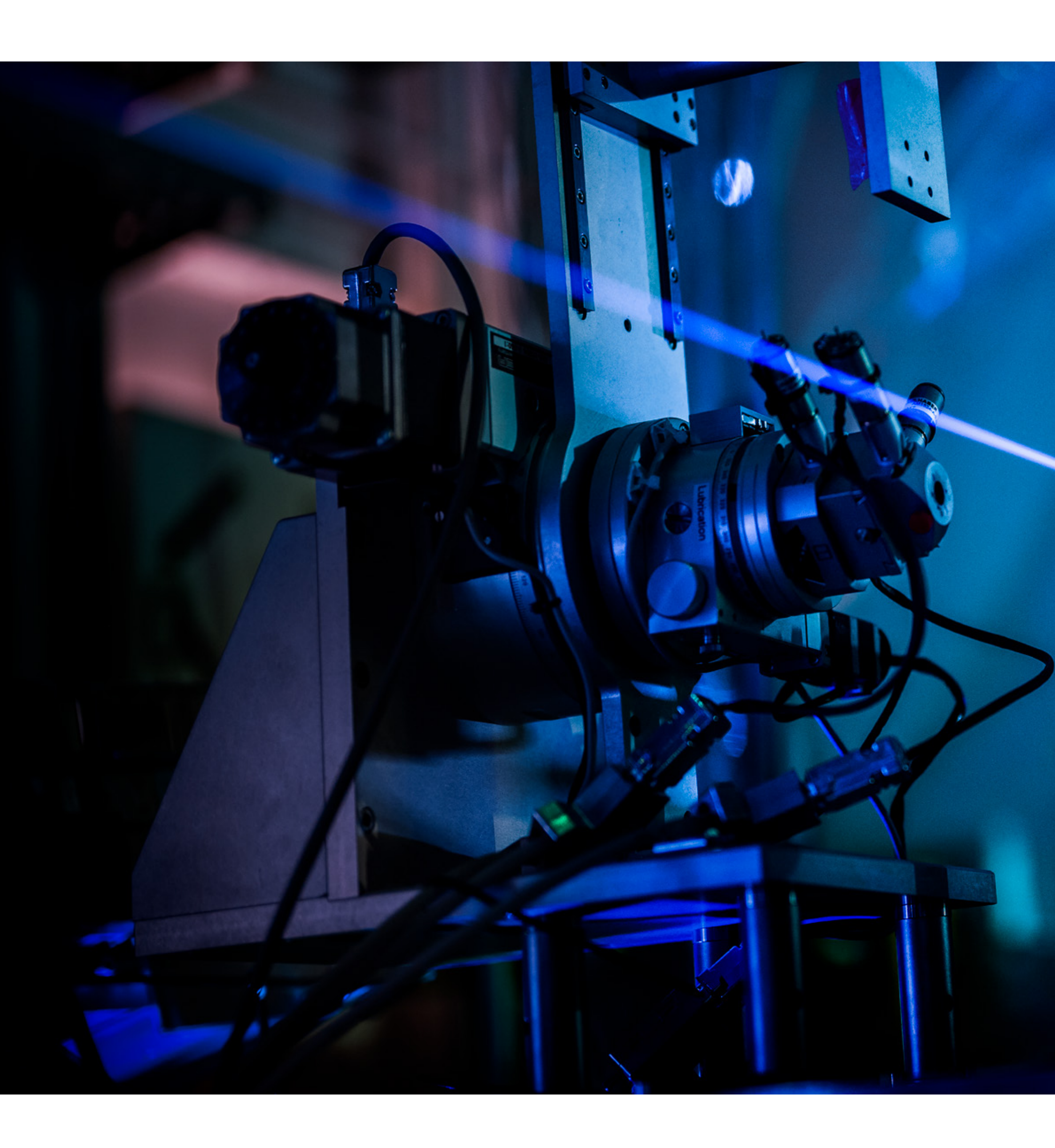
Catégorie : Projet
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Localisation des autres sites (en France) : Cergy, Champs-sur-Marne, Marseille 3e, Marseille 9e, Orsay, Palaiseau, Paris 1er, Paris 5e, Pessac, Saint-Aubin, Toulouse, Versailles
Établissement(s) français porteur(s) : FSP

Année de création : 2016
Année d'exploitation : 2023
Tutelles/Partenaires : MESRI, MC, CNRS, Inria, MNHN, Université Paris-Saclay, CY Cergy Paris Université
Contact en France : contact@sciences-patrimoine.org
Site web : www.erihs.fr

Dimension internationale

E-RIHS, ESFRI project

Pays partenaires : BE, ES, FR, GR, HU, IT, MT, NL, PT, RO, UK, SI
Site internet : www.e-rihs.eu


Lubrication



6.

Sciences de la **matière** et **ingénierie**

Sciences de la **matière** et **ingénierie**

Les infrastructures de recherche des sciences de la matière ont pour objectif d'offrir aux communautés scientifiques des outils de recherche exceptionnels voire uniques pour développer la connaissance de la matière à différentes échelles, depuis l'atome jusqu'au niveau macroscopique, sous toutes ses formes (gaz, solide, liquide, plasma) et sous conditions extrêmes.



Par définition, ce domaine est **transverse et pluridisciplinaire** ; il concerne ainsi la plupart des domaines scientifiques de recherche fondamentale ou appliquée (la science des matériaux, la biologie, la chimie, la physique, la géologie, les sciences du patrimoine…). Les avancées dans la connaissance et la compréhension de la matière requièrent des techniques de caractérisation constamment évolutives avec des technologies à la pointe de l'excellence scientifique. Le panel extrêmement large de sondes qu'elles représentent (rayons X, neutrons, électrons, lasers…), couplé à des résolutions spatiale et temporelle sans cesse améliorées, constitue un atout important pour le positionnement de la recherche française au niveau international. Ces outils sont de plus au service de nombreux enjeux sociétaux (énergie, environnement, transports, santé, information et communication, etc.).

La France dispose de **très grandes installations mono-site d'envergure internationale** nécessitant de très forts investissements (de 100 M€ à quelques milliards d'euros) et budgets de fonctionnement. Ces instruments (synchrotrons, laser à électrons libres, sources de neutrons, lasers) sont en majorité des IR* qui sont construites et opérées par plusieurs pays partenaires. Ce paysage instrumental est largement complété par de nombreuses **plateformes distribuées** de caractérisation, de fabrication ou d'irradiation qui permettent des mises en réseaux d'instruments compétitifs au niveau mondial associés à une expertise internationale au service de la communauté scientifique.

LES SOURCES DE LUMIÈRE : CENTRES DE RAYONNEMENT SYNCHROTRON, LASERS À ÉLECTRONS LIBRES

La France, depuis la création en 1971 du Laboratoire pour l'Utilisation du Rayonnement Électromagnétique (LURE) est un des pays pionniers dans **l'utilisation du rayonnement synchrotron**. Elle accueille sur son sol deux centres de rayonnement synchrotron de niveau international : le centre européen **ESRF** (European Synchrotron Radiation Facility) à Grenoble, premier synchrotron de 3e génération ouvert aux utilisateurs depuis 1994 – qui, après un programme ambitieux et innovant de modernisation (**ESRF-EBS**), est récemment devenu le premier synchrotron de 4e génération à haute-énergie – et le synchrotron **SOLEIL** sur le plateau de Saclay, installation nationale ouverte aux utilisateurs depuis 2008.

Ces deux centres sont formés d'un ensemble d'accélérateurs permettant d'accélérer et de stocker des électrons d'énergie de 2,75 GeV (**SOLEIL**) ou 6 GeV (**ESRF**) dans un anneau dit *de stockage*, où l'inflexion de leur trajectoire par des dispositifs magnétiques leur fait émettre une lumière dite *rayonnement synchrotron*, pouvant aller de l'infrarouge lointain aux rayons X durs. Ces deux centres fournissent des photons d'énergies différentes : l'optimum est de 1 keV pour **SOLEIL** (rayons X mous) et de 10 keV pour l'**ESRF** (rayons X durs), ce qui les rend complémentaires.

Le paysage mondial est quant à lui constitué d'une cinquantaine de centres de rayonnement synchrotron, dont seulement 3 sont à « haute énergie » : **ESRF-EBS** à 6 GeV, APS (Argonne, USA) à 7 GeV et SPring8 (Japon) à 8 GeV. En Europe, la communauté d'utilisateurs, évaluée à environ 30 000 chercheurs, dispose de 11 synchrotrons en fonctionnement dont Diamond au Royaume-Uni et Petra à DESY en Allemagne.

La lumière extrêmement brillante produite par les synchrotrons est utilisée par une communauté très large, couvrant des disciplines telles que la physique, la chimie, la biologie, l'astrophysique, la géologie, l'archéologie, la paléontologie, les sciences des matériaux et les sciences du patrimoine. Ces sources de lumière contribuent en particulier très fortement à de nombreuses recherches reliées aux grands défis sociétaux – et elles sont destinées à y contribuer de plus en plus dans l'avenir grâce aux nouvelles performances générées par les évolutions technologiques des accélérateurs et des instruments qu'elles utilisent. Les faits marquants concernent les domaines de la santé (menaces de nouvelles maladies telles que le Covid, cristallographie des macromolécules avec des études couplées CryoTEM/synchrotrons, actions des médicaments), des sciences de l'environnement (analyse des plantes, de l'eau, des sols pollués), de l'énergie (catalyse, batteries, matériaux pour le nucléaire), de l'information (matériaux quantiques). Les recherches en biologie représentent à elles seules environ 50% des publications à l'**ESRF** et **SOLEIL**. Le nombre d'utilisateurs est estimé à 4 000 par an pour **SOLEIL** sur ses 29 lignes de lumière, et 9 000 pour l'**ESRF** qui compte 43 lignes de lumière dont 5 instruments gérés par la France (les CRG, Collaborating Research Groups). Ces deux centres offrent un accès à environ 5 000 chercheurs et étudiants français par an.

L'évolution technologique majeure des sources de lumière synchrotron consiste aujourd'hui à intégrer dans l'anneau de stockage la technologie des *multi-bend achromats* (MBA), initiée à MAX-IV en Suède et implémentée récemment avec grand succès à l'**ESRF**. Une diminution d'un facteur de 10 à 100 de l'émittance du faisceau d'électrons est alors obtenue, qui s'accompagne d'un gain de la brillance de la lumière produite du même facteur, ainsi que d'un renforcement de sa cohérence. Ces nouvelles performances, en plus de diminuer la durée des expériences et par conséquent entrainer une augmentation des possibilités d'accès, ouvrent de nouveaux champs d'application avec des résolutions spatiales et des temps d'acquisition inatteignables auparavant, notamment pour les expériences menées *in situ* ou *in operando*, ainsi que pour la nanoscopie. Dans la prochaine décennie, tous les centres de rayonnement synchrotron d'envergure internationale tendront à transformer leur accélérateur en utilisant la technologie des MBA. Pour rester compétitif, le synchrotron **SOLEIL** devra également réaliser cette jouvence afin de répondre aux besoins croissants de la communauté française pour des expériences à très haute résolution spatiale et temporelle.

Par ailleurs, les nouvelles propriétés des rayonnements synchrotron exigent également de nouvelles spécificités et performances au niveau des instruments, à savoir : plus de stabilité, des détecteurs plus performants, et un traitement des données obtenues amélioré qualitativement (utilisation de l'IA et du *machine learning*) et quantitativement (*data center*). Les besoins sont donc importants en instrumentation, en détection et en outils informatiques sous forme de matériels et de logiciels (hard et soft). La production d'une quantité inédite de données (l'**ESRF** prévoit de produire 60 Petabytes de données en 2026) requiert la mise en place de solutions innovantes de traitement et de stockage. **ESRF-EBS**, devenu depuis 2020 le premier centre opérationnel rénové, a ainsi planifié les opérations



de jouvence de ses lignes de lumière (optique, instrumentation, détecteurs) et s'est engagé dans l'amélioration de sa gestion des données.

Les **XFELs ou lasers X à électrons libres** sont de nouvelles sources de rayons X qui offrent des performances inédites pour étudier les propriétés structurales et dynamiques de la matière à l'échelle atomique, par exemple au cours d'une réaction en temps réel. Le projet européen **E-XFEL** (**European XFEL**) à Hambourg, inauguré le 1er septembre 2017, est la source de rayons X cohérents la plus intense du monde. Cette source de photons, produits sur une large gamme d'énergie (300 eV à 12.4 keV), a une brillance supérieure de 10 ordres de grandeur à celle du rayonnement synchrotron avec une durée d'impulsions inférieure à 100 fs. Le principe de fonctionnement d'**E-XFEL** est basé sur un accélérateur linéaire supraconducteur d'une longueur de 2 km (situé dans un tunnel de longueur totale de 3,4 km) qui confère une énergie de 17,5 GeV à des paquets d'électrons (technologie développée initialement pour les futurs collisionneurs électrons-positrons de la physique des hautes énergies). Ces électrons génèrent ensuite, en traversant de longs onduleurs, des bouffées de rayons X cohérents grâce au phénomène d'émission spontanée auto-amplifiée (SASE).

Les rayonnements XFEL permettent de suivre, à l'échelle de quelques dizaines de femtosecondes, des états de la matière stimulés par une excitation de lumière, une excitation thermique, un champ magnétique, une excitation THz, etc. Ceci ouvre la voie à des études nouvelles sur les phénomènes dynamiques, jusqu'alors inexplorés par manque d'outil (manipulations inédites de la matière, relation structure-dynamique-fonction en biologie structurale, etc.). Le rayonnement XFEL est donc une fenêtre unique sur la connaissance dynamique de la matière – tandis que de façon complémentaire, les synchrotrons permettent d'étudier les systèmes aux temps plus longs (> 100 ps). Les défis sociétaux qui bénéficient et bénéficieront de ces installations sont principalement la santé (petites molécules, pharmacologie, enzymes), l'énergie (photosynthèse), l'information et la communication (dynamique du magnétisme, matière quantique).

Les XFELs sont des sources aux propriétés uniques avec une communauté utilisatrice croissante et variée. Néanmoins l'accès à ces sources reste limité du fait du relativement faible nombre d'installations existantes. Dans le paysage européen, on peut citer le SwissFEL en Suisse, moins performant qu'**E-XFEL** en termes de fréquence (100 Hz vs 27 kHz) et d'énergie des X produits, ainsi que deux installations dans le domaine spectral XUV (X-mous), FERMI en Italie et FLASH en Allemagne, et un projet de laser à électrons libre au Royaume-Uni (UK XFEL), bien avancé. Au niveau mondial, SACLA au Japon, LCLS aux USA, et PAL-XFEL en Corée sont également ouverts à la communauté scientifique.
En France, les utilisateurs de **E-XFEL** sont issus d'une quarantaine de laboratoires associés à des communautés variées travaillant sur la matière en condition de haute densité d'énergie, sur la physico-chimie des atomes et molécules isolés, sur la matière condensée (dynamique ultra-rapide, photo-physique, photo-chimie) et sur la biologie structurale.

La stratégie française dans le domaine des synchrotrons et des lasers à électrons libres est de **poursuivre son engagement dans l'ESRF** (IR*) dont l'upgrade **ESRF-EBS** est une grande réussite, d'étudier la possibilité d'une **mise à niveau pour le synchrotron SOLEIL** (IR*), afin de rester à un niveau concurrentiel et de répondre à la demande des utilisateurs en résolution et en imagerie (*in situ, in operando*), et enfin de **conforter la participation française à E-XFEL** (IR*), seul laser à électrons libres où la France a des parts. La France encourage cette installation à poursuivre sa montée en puissance et à augmenter le nombre d'expériences ouvertes aux utilisateurs. La communauté d'utilisateurs

XFEL étant substantielle et en nombre croissant, la pertinence de la construction d'une source de type XFEL en France pourrait se poser dans la prochaine décennie.

LES SOURCES DE NEUTRONS

Le **rayonnement neutronique** est utilisé pour étudier et caractériser les propriétés et le comportement de la matière condensée, de l'échelle atomique à l'échelle macroscopique, à des échelles de temps allant de 10^{-12} à 1 s. Basé sur les spécificités de l'interaction neutron-matière (grande pénétration dans la matière, interaction magnétique, sensibilité aux atomes légers en particulier à l'hydrogène et à ses isotopes, énergie et longueur d'onde proches de celles des excitations et relaxations rencontrées dans la matière…), c'est un outil puissant et unique dans des domaines de recherche fondamentale très variés, en particulier en matière condensée et en chimie (transitions de phase, nouveaux états de la matière, magnétisme, chimie de l'état solide, nanomatériaux, physique des polymères et des liquides, structure des cristaux, protéines et mécanismes enzymatiques, catalyse, solutions, métallurgie, biophysique…) mais également en physique subatomique.

Les techniques de diffusion des neutrons sont comparables à celles des synchrotrons à rayons X. Néanmoins, même si avec l'évolution des techniques certains chevauchements sont observés, une majorité des applications des neutrons reste inaccessible autrement (étude des excitations et des vibrations atomiques, magnétisme, études macroscopiques non destructives de pièces massives, imagerie et neutronographie, études structurales en physico-chimie…). Les faisceaux de neutrons apportent ainsi des renseignements uniques pour répondre à différents défis scientifiques et sociétaux dans des domaines tels que l'énergie (membranes des piles à combustible, matériaux pour le nucléaire, stockage d'hydrogène…), le transport (matériaux légers, propriétés mécaniques et structurales, étude des pneus…), les sciences du patrimoine (étude non destructive par imagerie, vieillissement…), les technologies de l'information (matériaux magnétiques complexes) ou l'environnement (étude des mousses, compréhension des clathrates stockant le méthane…) et la santé (vésicules vecteurs de nouvelles molécules, interaction eau-protéines, membranes biologiques…), notamment par l'étude de nouveaux matériaux.

Les faisceaux de neutrons les plus intenses sont produits soit dans un réacteur nucléaire de recherche par réaction de fission des noyaux d'Uranium 235, soit par réaction de spallation, dont le principe est basé sur l'interaction d'un faisceau de protons de très haute énergie (produit par de grands accélérateurs) avec une cible métallique (d'atomes lourds Hg, W, Pb), les neutrons étant produits lors de la désintégration des atomes de la cible. Les réacteurs nucléaires produisent des flux de neutrons thermalisés ($1 \text{ meV} < E < 150 \text{ meV}$) continus tandis que les sources de spallation produisent des faisceaux pulsés (sauf SINQ à PSI) dans une très large gamme d'énergie, et avec une grande intensité au pic (alors que l'intensité intégrée dans le temps est généralement inférieure à celle d'un réacteur).

L'Europe, leader mondial en rayonnement neutronique, compte environ 6 000 utilisateurs réguliers des sources de neutrons, toutes disciplines confondues, dont 25 % environ sont français (pour comparaison la communauté est d'environ 1 000 personnes aux USA, probablement en croissance depuis la montée en puissance de SNS, et de 800 utilisateurs réguliers au Japon). La France affiche le plus fort taux Européen de publications en neutronique avec l'Allemagne et le Royaume-Uni, essentiellement grâce aux expériences menées à l'**ILL** et jusqu'en 2019 à Orphée.



Depuis la dernière décennie, le paysage européen des installations neutroniques montre une nette diminution de l'offre globale du fait de la mise à l'arrêt progressive des réacteurs nucléaires, la plupart datant des années 1970. Les derniers réacteurs arrêtés sont des réacteurs nationaux : BER II en Allemagne, JEEP II en Norvège et Orphée en France, arrêtés en 2019. Cette évolution ne sera que partiellement compensée par la **source européenne à spallation ESS** (European Spallation Source), actuellement en construction à Lund en Suède, qui est basée sur un accélérateurs de protons de 2 MW (5 MW à termes) et qui prévoit l'installation de 15 instruments dans sa phase initiale. **ESS** devrait démarrer en 2027 et, après plusieurs années de montée en régime, devenir la source de neutrons la plus puissante du monde. À la fin de la décennie 2020, les sources principales de neutrons européennes devraient ainsi se résumer aux réacteurs de l'**ILL** (Grenoble) et de FRM2 (Munich) ainsi qu'aux sources de spallation SINQ à PSI en Suisse, ISIS au Royaume-Uni et **ESS** en Suède. Au-delà de l'Europe, la neutronique progresse : la Chine a mis en route en dix ans trois sources intenses de neutrons ; aux États-Unis, SNS projette d'installer une deuxième cible, et les réacteurs de NIST et d'Oak Ridge pourraient entamer une jouvence. Par ailleurs, l'Australie dispose d'un réacteur à l'ANSTO, la Russie va démarrer le réacteur PIK de 100 MW et le Japon, autour de l'installation phare J-PARC, développe de nombreux projets de petites sources. L'Europe pourrait ainsi bientôt perdre sa place de leader en neutronique malgré l'avènement de l'**ESS**.

La communauté française dispose aujourd'hui sur son sol d'une unique source de neutrons, l'**ILL** (Institut Laue-Langevin), dont le **réacteur à haut flux** de 58 MW, démarré en 1971, produit les faisceaux continus de neutrons les plus intenses au monde. L'**ILL** est opéré par la France, l'Allemagne et le Royaume Uni et sa fermeture est aujourd'hui envisagée au début de la décennie 2030.

La communauté française bénéficie également de cinq instruments en CRG à l'**ILL**, opérés par différents organismes de recherche français. Afin d'accroître l'offre française en diffusion neutronique, le Laboratoire Léon Brillouin (LLB) a lancé la réalisation de nouveaux instruments en valorisant certains instruments ou parties d'instruments anciennement installés auprès du réacteur Orphée. Ainsi de nouveaux CRGs installés notamment à l'**ILL** et à PSI viendront renforcer les possibilités d'accès aux équipes françaises dans les prochaines années. L'ensemble de ces *out-stations* sera intégré dans les appels à projets déjà organisés par la Fédération Française de Diffusion Neutronique (2FDN).

Il n'en reste pas moins qu'un déficit majeur en sources de neutrons pour les utilisateurs français est à prévoir. À l'horizon des années 2030, le nombre d'instruments-jours disponibles pour la communauté française sera réduit d'au moins un facteur 10 par rapport à avant l'arrêt d'Orphée si la fermeture de l'**ILL** se confirmait. Un déficit se fera aussi sentir au niveau européen mais dans une moindre mesure, la plupart des pays majeurs dans le domaine ayant au moins une source nationale. Dans ce contexte, une troisième manière de produire des neutrons s'est développée récemment, en utilisant une réaction dite de *stripping* sur des cibles légères (Be, Li). Le principe est basé sur l'utilisation d'un accélérateur de particules de quelques dizaines de MeV, très compact par rapport aux installations de spallation nécessitant des énergies de protons très élevées, ainsi que d'un système cible-modérateur de petite taille permettant d'obtenir un faisceau de neutrons d'une brillance sensiblement équivalente à celle d'un réacteur de moyenne puissance. Ces sources compactes dites CANS (Compact Accelerator-based Neutron Sources) ont l'avantage d'être moins chères, modulaires, et de pouvoir être évolutives et pulsées, comme les sources à spallation. Ces CANS existent déjà dans quelques pays (USA, Japon) mais avec des performances

très limitées. Avec le développement des accélérateurs de protons à courant élevé, de nombreux projets de telles sources compactes existent en Europe (Allemagne, Hongrie, Espagne…) et dans le monde (Chine, Corée, Japon, USA…). Bien que des études doivent encore être menées pour résoudre les problèmes de la cible et des modérateurs et pour optimiser les accélérateurs, il apparaît que les CANS pourraient être suffisamment prometteurs pour constituer les sources de neutrons du futur après 2030. Dans ce contexte, un projet innovant, a été initié par le CEA pour concevoir et préparer le démonstrateur d'une telle source.

Concernant la feuille de route française dans le domaine du rayonnement neutronique, compte tenu de son importance pour la communauté scientifique académique et industrielle et son apport pour répondre aux grands enjeux sociétaux, **le fonctionnement et la modernisation de l'ILL** (IR*) est prioritaire. Le soutien des instruments français issus du LLB devrait être poursuivi et accru, pour renforcer certains domaines en déficit d'offres (diffraction, imagerie…). La France poursuivra son **soutien à la construction d'ESS** (IR*), à la fois sur l'accélérateur et sur les instruments ; à long terme, le nombre d'instruments doit y être doublé *a minima* afin de répondre aux besoins de la communauté européenne et d'atteindre un coût par jour d'expérience acceptable. Un enjeu à l'avenir sera de former les générations futures et d'exploiter au mieux la source de neutrons de troisième génération ESS, dont l'accès sera très sélectif.

LES INSTALLATIONS LASERS

Le champ thématique de la lumière extrême, marqué par l'attribution d'un prix Nobel de physique en 2018, est depuis une vingtaine d'années en forte expansion dans le monde et en Europe. La France possède **deux infrastructures lasers nationales de classe internationale, APOLLON et LMJ-PETAL**, ainsi que des installations de laboratoire (une dizaine en France) de très haut niveau. Les projets scientifiques relèvent de la physique des processus à ultra-haute intensité (UHI) et à haute densité d'énergie (HDE), mais aussi de la physique et la chimie des processus ultra-rapides. Les deux IR mono-site françaises, **APOLLON** (Île-de France) et **LMJ-PETAL** (Nouvelle Aquitaine), répondent à un critère partagé à l'international : leur puissance laser au-delà du PétaWatt (1 PW = 10^{15} W). Ces infrastructures combinent technologies de pointe, taille d'installation, sécurité et radioprotection, et coût de projet inenvisageables à l'échelle d'un laboratoire.

Avec la physique des plasmas, la génération de sources de rayonnement ou de faisceaux de particules et l'interaction lumière-matière comme socle, **APOLLON et LMJ-PETAL** permettent d'aborder les grandes questions scientifiques actuelles en physique UHI (dont la physique en champ fort, l'électrodynamique quantique, les miroirs plasma relativistes, l'accélération d'électrons par sillage laser…) et en physique HDE (dont la physique de base pour la fusion par confinement inertiel). La théorie, avec la simulation numérique, ainsi que la R&D sur les technologies laser sont transverses.

Le domaine scientifique lié aux lasers de puissance s'étend de la recherche fondamentale jusqu'au transfert technologique et l'innovation, avec notamment deux grands industriels français leaders mondiaux (Thalès et Amplitude) mais également des PME et start-up. Ce secteur multi-PW est très concurrentiel et de nombreux pays disposent d'installations importantes : l'Angleterre (Vulcan 2020), l'Allemagne (ATLAS 3000 et PHELIX), la Russie (PEARL-X et XCEL), la Chine (SULF et un projet 100 PW), le Japon (J-Karen), la Corée du Sud (CoReLS), les États-Unis (Omega EP et PW TEXAS) et enfin la Hongrie, la Roumanie et la Tchéquie qui construisent le projet ELI.



La communauté scientifique des lasers compte environ 500 personnes en France, dont 200 utilisateurs potentiels des installations multi-pétaWatt, ce qui représente la moitié de la communauté européenne recensée dans le consortium Laserlab Europe. La communauté des lasers au niveau mondial est d'environ 3 000 personnes. Le paysage européen est très riche, LaserLab Europe rassemblant environ 35 institutions de premier plan. Plusieurs installations françaises sont ouvertes aux utilisateurs à Bordeaux (CELIA), Marseille (LP3) et dans la région de Saclay (LIDYL avec ATTOLAB, LOA, LULI avec LULI2000, ISMO et IJCLab avec LASERIX), dont plusieurs étudient la physique et la chimie des processus ultra-rapides. La réflexion entamée par le CNRS, l'École Polytechnique et le CEA autour du plateau de Saclay, pourrait être étendue à d'autres établissements et aux sites en région pour développer une vision nationale de cette science à fort potentiel.

Dans ce paysage, l'IR* **APOLLON** est un outil unique avec notamment ses 4 faisceaux lasers (10 PW-fs, 1 PW-fs en service, 250 J-ns et faisceau sonde) dont le développement pour atteindre ses caractéristiques nominales doit être poursuivi prioritairement, conjointement à sa mise en service et son ouverture aux utilisateurs. De même, l'IR **LMJ-PETAL**, opérationnelle depuis 2017, doit poursuivre sa montée en puissance. Cette installation, unique en Europe, est l'une des plus grandes au monde, en compétition avec le NIF (National Ignition Facility, Livermore) aux USA. L'impact majeur de ces deux infrastructures concerne, outre la souveraineté nationale, le maintien de l'excellence scientifique de la France sur des sujets scientifiques stratégiques, leur rôle dans la formation d'excellence sur les deux sites (plateau de Saclay et Bordeaux) et leur apport à l'écosystème formation-recherche-innovation.

CHAMPS MAGNÉTIQUES INTENSES

Les infrastructures qui développent et/ou exploitent des installations à champ magnétique extrêmement élevé sont utilisées par les scientifiques pour la recherche en physique, biologie, bio-ingénierie, chimie, géochimie, biochimie, science des matériaux et ingénierie. Dans ce domaine, le **Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses (LNCMI)**, qui fait partie de l'infrastructure européenne European Magnetic Field Laboratory (EMFL) avec le HFML Nijmegen (champs statiques) et le HLD Dresden (champs pulsés), a pour l'objectif d'explorer les champs magnétiques d'exception présentant notamment une très forte stabilité et homogénéité spatiale. Le **LNCMI** est une infrastructure analytique indispensable pour le développement de nouveaux matériaux essentiels pour de nombreuses technologies modernes telles que pour l'énergie (supraconducteurs, thermoélectriques, etc.), la physique des hautes énergies, le stockage d'informations et le traitement quantique. Son plus grand enjeu scientifique concerne la compréhension de la structure électronique de la matière fortement corrélée (magnétisme, supraconductivité).

Par ailleurs, le développement de ces champs magnétiques élève à un niveau mondial l'instrumentation scientifique dédiée aux mesures physiques sous champs intenses (spectroscopie UV-VIS-NIR-THz, RMN, RPE, aimantation, transport…), souvent en combinaison avec des très basses températures. Les instruments d'analyse français les plus remarquables faisaient jusqu'à présent partie de trois infrastructures inscrites dans la précédente feuille de route (IR-RMN-THC, Renard et FT-ICR-MS). Le rapprochement de ces trois réseaux a permis leur fusion dans une seule infrastructure **Infranalytics**, offrant ainsi un accès cohérent et adapté à la large communauté des chercheurs académiques

et industriels (environ 300 utilisateurs par an). Cette nouvelle infrastructure est unique en Europe. À l'échelle mondiale, seul le NHMFL aux USA dispose en interne des trois techniques. L'exploitation conjointe de techniques de spectroscopie et de spectrométrie à champ très intense et à haute capacité résolutive contribuera à des percées technologiques dans un large éventail de disciplines, notamment la médecine, la biologie structurale, la métabolomique, l'analyse de la matière organique complexe, les matériaux avancés, la production et le stockage d'énergie, l'environnement et la durabilité.

Ces deux IR jouent et continueront de jouer un rôle crucial pour garder la France à la pointe des développements, ouvrir de nouvelles opportunités de recherche analytique à champ magnétique très élevé et donner accès à une large communauté d'utilisateurs académiques et industriels.

MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE

L'utilisation de la microscopie électronique par la communauté française de chercheurs se place depuis de nombreuses années au niveau de l'utilisation routinière quand il s'agit de microscopie électronique classique. Cependant, en parallèle se développe depuis de nombreuses années une microscopie électronique de très haut niveau intégrant des appareils par transmission (MET), des sondes atomiques tomographiques (SAT) ou des appareils de cryo-EM. Ces derniers font partie de l'Infrastructure Française de Biologie Structurale Intégrée (**FRISBI**) fournissant une approche intégrative de biologie structurale. Les autres types d'appareils sont accessibles à la communauté par l'intermédiaire de l'IR **METSA** qui regroupe en particulier 13 MET et 3 SAT. Ces instruments sont utilisés essentiellement pour l'étude, jusqu'aux échelles atomiques, de la structure, de la composition chimique, des propriétés physiques (électroniques, électriques, magnétiques, optiques…) des matériaux, de façon très complémentaire aux infrastructures de type synchrotrons ou neutrons. **METSA** s'adresse à une très large communauté regroupant les sciences des matériaux (métallurgie, matériaux fonctionnels…), la chimie (catalyse, batteries…), les sciences de l'ingénieur (dispositifs électroniques, cellules photovoltaïques…) et de manière plus restreinte la géologie et la biologie. L'utilisation des MET et SAT est à la base des innovations impactant de nombreux enjeux actuels, en particulier l'adaptation au réchauffement climatique, la neutralité carbone et les technologies de l'information. Avec presque 50 % des demandes effectuées dans le cadre de thèses, **METSA** assure un rôle de formation important. 10 % de son accueil vise des demandes internationales et deux de ses plateformes sont membres du réseau de microscopie européen ESTEEM. Dans les 5 prochaines années, **METSA** aura pour objectifs de rendre disponibles des techniques émergentes de très haute technicité (*in situ/ operando*, spectroscopies très haute résolution, temps résolu, détection directe…), de renforcer les synergies internes au sein de son réseau (entre SAT et MET) pour offrir aux utilisateurs de nouveaux moyens d'analyse de la matière, de renforcer le lien avec la chimie et d'étendre son accès à la communauté de biologie.

Pour être complet, il est à souligner que certaines infrastructures comme **E-RIHS**, qui est dédiée à l'analyse des matériaux du patrimoine, intègrent également une partie des outils de caractérisation de pointe des sciences de la matière (microscopie électronique, synchrotrons, lasers, faisceaux d'ions) qui s'ajoutent à des plateformes d'analyse plus spécifiques.

IRRADIATION DES MATÉRIAUX

Les thématiques scientifiques associées aux irradiations de matériaux sont très variées et concernent autant les recherches fondamentales qu'appliquées. En effet,



mieux comprendre le rôle des défauts dans les solides est un défi majeur pour être en mesure de comprendre les propriétés des matériaux, d'en concevoir de nouveaux aux propriétés innovantes ou de prédire leur vieillissement et ses conséquences. L'irradiation permet de créer, de manière contrôlée selon l'énergie et le type de particules, différents défauts et amas de défauts, mais également de provoquer des phénomènes de décomposition chimique tels que la radiolyse. Par ailleurs, la maîtrise des interactions particules-matière permet également à l'irradiation de créer des nano-objets, de réaliser des analyses chimiques et structurales ou encore, dans le secteur industriel, de stériliser ou de produire des radio-isotopes pour l'imagerie médicale.

La France compte de nombreuses installations d'irradiation spécialisées mais pas toujours ouvertes au monde académique. **EMIR&A** est un réseau d'accélérateurs de particules pour l'irradiation et l'analyse des matériaux et molécules, accessible aux communautés scientifiques et industrielles. Son panel d'accélérateurs complémentaires d'ions et d'électrons, équipés d'instrumentations de caractérisation *in situ*, constitue un outil de recherche de niveau mondial, comme le prouve la demande d'accès internationale. À l'instar de ce qui existe au Royaume Uni et en Allemagne, **EMIR&A** est la structure française phare et incontournable pour les études de la matière condensée avec des accélérateurs. Ces 5 dernières années, **EMIR&A** a contribué à plus de 400 publications dans des revues internationales et s'est constitué une communauté conséquente d'utilisateurs (450 chercheurs, 250 étudiants et une trentaine de partenaires industriels). Dans les 5 prochaines années, il est indispensable de maintenir ces installations au plus haut niveau de performance, d'ouvrir le réseau à de nouveaux outils originaux tels que les microfaisceaux et d'accroître l'animation de la communauté.

À l'échelle européenne, IFMIF-DONES est un projet d'infrastructure européenne porté par l'Espagne pour permettre de réaliser des irradiations avec un flux de neutrons de 14 MeV. Ce projet s'inscrit dans la suite du prototype IFMIF-EVEDA réalisé dans le cadre de la collaboration entre Euratom et le Japon (Approche Elargie d'ITER). L'objectif principal de cette infrastructure unique au monde sera d'étudier la tenue des matériaux de structure des futures installations de fusion par confinement magnétique (ITER, DEMO) mais ce type d'irradiation s'ouvrira certainement à d'autres domaines d'applications comme le spatial. Enfin, citons le projet MYRRHA (Multi-purpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications) en construction en Belgique qui sera le premier réacteur sous-critique au monde à être piloté par un puissant accélérateur linéaire de particules (Accelarator Driven System – ADS). Cette infrastructure aura des applications dans des domaines tels que les déchets nucléaires, la physique fondamentale et appliquée et en médecine nucléaire.

INFRASTRUCTURES EN SCIENCES DE L'INGÉNIERIE

Les nanotechnologies sont utilisées dans de nombreux domaines scientifiques, notamment celui du traitement de l'information (microélectronique, photonique, télécommunications) qui s'oriente vers les technologies quantiques et l'intelligence artificielle (processeurs quantiques ou calcul neuromorphique). Un deuxième domaine d'application est l'ingénierie biomédicale avec les dispositifs d'analyses médicales miniaturisés ou les organes sur puces reproduisant des systèmes biologiques pour mieux les comprendre. Enfin, bien d'autres domaines ont besoin de nanofabrication : la chimie avec les micro-réacteurs, l'astronomie avec les détecteurs radio

ou optiques des télescopes, les instruments miniatures des satellites et la surveillance de l'environnement (capteurs bas coût en grand nombre pour mailler précisément les territoires). La nanofabrication est indispensable pour réaliser tous ces dispositifs, en complémentarité avec les autres infrastructures analytiques (synchrotrons, microscopie, lasers…).

Le réseau **RENATECH** comporte 5 « grandes centrales » de nanofabrication permettant la réalisation de démonstrateurs et ouvertes aux utilisateurs. Ce réseau affiche la réalisation d'environ 1 000 projets de recherche et environ 1 100 publications/an. Des infrastructures similaires existent dans plusieurs pays (USA, Japon, Australie, Suède, Norvège et Pays-Bas) et répondent aux mêmes enjeux. **RENATECH** fédère à présent aussi 27 salles blanches « régionales » plus petites, pour former le réseau **RENATECH+**, soit la quasi-totalité des salles blanches nationales, ce qui permettra de renforcer les points forts de la France au niveau Européen, notamment en photonique, spintronique, microsystèmes et sur la synthèse de matériaux actifs par épitaxie. **RENATECH** est aussi leader du consortium européen EuroNanoLab visant la construction d'une infrastructure européenne.

Dans le domaine transverse de la métrologie du temps, la nouvelle infrastructure **REFIMEVE** est basée sur la possibilité de distribuer, via le réseau de fibres optiques de **RENATER**, une fréquence optique de haute stabilité et exactitude élaborée par le SYRTE (Laboratoire National de Métrologie Temps/Fréquence). À l'échelle du territoire, cette distribution de temps et de fréquence est envisagée auprès d'une trentaine de laboratoires et infrastructures de recherche dans des domaines très variés (**SOLEIL**, CNES, **IRAM**, FEMTO-ST, **CERN**, ESR…) et permettra la comparaison des meilleures horloges terrestres à l'échelle européenne. De nombreux champs disciplinaires vont tirer parti de la dissémination de cette fréquence : la métrologie temps/fréquence, la physique fondamentale sur Terre et dans l'espace, la spectroscopie de précision appliquée à l'environnement et à la physique de l'atmosphère… Par ailleurs, cet instrument pourra être utilisé en tant que gyromètre géant et également comme senseur sismique grâce à la présence d'un large réseau de fibres optiques à travers le monde.

GESTION DES DONNÉES ET SCIENCE OUVERTE

La grande majorité des infrastructures de recherche des sciences de la matière et de l'ingénierie affiche, dans le domaine de la science ouverte, soit une véritable politique d'ouverture pour les plus grandes et les plus matures, soit un intérêt et une prise en compte de l'enjeu de cette démarche d'ouverture au moins au niveau des données.

Concernant les données, la quasi-totalité des infrastructures a une politique de gestion des données et se positionne plus largement dans une politique FAIR. Les infrastructures ont pour la plupart initié une structuration des moyens afin d'amplifier l'ingénierie de la donnée et définir les standards à adopter en termes de stockage, de traitement et de pérennisation. En particulier pour les IR mono-site, on notera la mise en place d'identifiants uniques rattachés à chaque jeu de données (DOI) et l'amorce de solutions de stockage mutualisé au sein de centres spécialisés. Dans le cadre des infrastructures multi-sites, la situation est plus complexe et se heurte à l'absence de métiers de la donnée pour mettre en place des solutions pérennes. Pour toute cette communauté des sciences de la matière et de l'ingénierie, l'enjeu est maintenant de structurer un réseau de pratiques autour de la gouvernance des données afin de définir les bons standards en particulier pour la description des jeux de données



(échantillons, acquisition, traitement…) et ainsi valoriser leur réutilisation possible.

La politique de science ouverte, au-delà des données, doit faire émerger des pratiques de diffusion des codes ou logiciels permettant de traiter, de simuler ou d'analyser les données. Dans ce domaine, seules quelques installations utilisent des outils de développements collaboratifs (forge) de façon à rendre parfaitement réutilisables les codes partagés, et un tiers environ les diffusent sous licences libres. Enfin concernant les publications, presque toutes les infrastructures encouragent les utilisateurs à publier en accès ouvert ou à déposer sur les archives ouvertes.

De façon à généraliser ces bonnes pratiques, un identifiant *Funder Registry* devrait être associé à chaque infrastructure. Dès lors, la citation de cet identifiant dans les publications au niveau des remerciements ou des co-auteurs, ou bien associé à des logiciels et des jeux de données permettrait de tracer l'usage et l'impact des infrastructures.



Représentation schématique de l'utilisation des infrastructures du domaine « Science de la matière et ingénierie » pour les études en lien avec les défis sociétaux pertinents pour cette thématique (estimation qualitative basée sur les publications issues des infrastructures existantes – les dénominations « Plateformes » et « Ingénierie » regroupent Infranalytics, METSA et EMIR&A d'une part et RENATECH et REFIMEVE d'autre part)

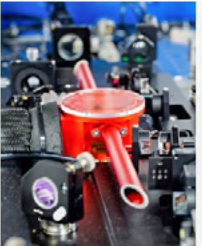


Apollon

Laser Apollon

L'infrastructure de recherche Apollon, opérée par le LULI (Laboratoire pour L'Utilisation des Lasers Intense), vise, grâce à ses sources laser uniques (1 et, à terme, 10 PW) et à ses deux salles d'expérimentation, la réalisation d'expériences dans une gamme de puissance laser encore inexplorée. De par son implantation au cœur du plateau de Saclay, Apollon offre à la communauté scientifique, nationale et internationale, un environnement scientifique rare et des instruments uniques pour développer des programmes scientifiques à la pointe de la compétition mondiale.

Apollon permet des études novatrices en physique des plasmas et en électrodynamique quantique, ainsi que le développement de nouvelles sources secondaires de rayonnement (X, γ) ou de particules (électrons, protons, ions multichargés) aux caractéristiques exceptionnelles. Cette infrastructure autorise ainsi une rupture scientifique pour la recherche fondamentale en physique, astrophysique,





chimie ou encore en biologie et médecine, et ouvre la voie à de nombreuses applications pluridisciplinaires. Apollon a également vocation à relever des défis technologiques et sociétaux dans les domaines de la santé (diagnostics et thérapies), de l'énergie et des accélérateurs de nouvelles générations. Enfin, Apollon permet à la France de se positionner comme un partenaire international de tout premier ordre sur la thématique « lumière extrême ».

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Apollon est une vitrine de la R&D des entreprises française du laser (Amplitude, Thales…) en démontrant l'efficacité de leurs produits sur l'installation, produits souvent développés en collaboration. Apollon facilite la création de laboratoires communs (HERACLES3 avec Thales). Apollon donne accès aux industriels, pour caractériser optiques et pièces mécaniques, à des moyens qualifiant les composants avant leur montage sur l'installation.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 150 To

Catégorie : IR*

Type d'infrastructure : monosite

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Saint-Aubin

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, École polytechnique (X)

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Patrick Audebert

Année de création : 2010

Année d'exploitation : 2020

Tutelles/Partenaires : CEA, Institut d'optique graduate school, École nationale supérieure de techniques avancées, Synchrotron SOLEIL

Contact en France : patrick.audebert@polytechnique.fr

Site web : https://apollonlaserfacility.cnrs.fr



ESRF

European Synchrotron Radiation Facility

Leader dans la science des rayons X, l'ESRF est un centre d'excellence pour la recherche fondamentale, appliquée et industrielle, avec des applications très variées, en santé et biologie, environnement, physique des matériaux et chimie, énergie, nanotechnologies, géosciences, patrimoine culturel et paléontologie. Doté d'une toute nouvelle génération de synchrotron à haute énergie (ESRF-EBS), l'ESRF est la source la plus brillante au monde, avec des rayons X 10 000 milliards de fois plus intenses que ceux utilisés à l'hôpital.

L'ESRF doit son succès à la coopération internationale de ses 22 pays partenaires. Chaque année, ce sont plus de 10 000 scientifiques du monde entier qui viennent à Grenoble utiliser les rayons X de l'ESRF, et mener des expériences sur une des 46 lignes de lumière ou laboratoires de pointe. Grâce à ses performances, ESRF-EBS ouvre de nouvelles perspectives pour la communauté scientifique internationale pour répondre aux grands défis sociétaux. D'ores et déjà, ESRF-EBS a permis la mise en place de projets scientifiques novateurs, réunissant des équipes internationales pluridisciplinaires, tels que la plateforme d'excellence sur les batteries basée sur un accord de coopération ESRF-ILL-CEA ou encore le projet sur l'imagerie des organes humains financé par la Fondation Chan Zuckerberg Initiative (CZI), qui révolutionne la bio-imagerie jusqu'au niveau cellulaire, permettant de mieux comprendre des maladies comme la COVID-19 ou Alzheimer.



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

L'ESRF a pour missions le partage de connaissances et technologies avec la communauté synchrotron de ses pays membres, dont la France, la formation des scientifiques, ingénieurs et techniciens de demain et la sensibilisation du grand public, et des plus jeunes à la science. 98 % du budget ESRF est investi dans des contrats industriels dans ses 22 pays partenaires et 50 % en Auvergne-Rhône Alpes. Plus de 300 entreprises utilisent l'ESRF depuis 1994.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://gitlab.esrf.fr
- Production annuelle de données : 10 Po
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données http://paleo.esrf.eu

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Grenoble
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, CEA

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Francesco Sette
Année de création : 1988
Année d'exploitation : 1994
Contact en France : ESRF-Director@esrf.fr
Site web : www.esrf.eu

Dimension internationale

ESFRI landmark : ESRF EBS
Responsable : Francesco Sette (directeur général de l'ESRF)

Pays partenaires : DE, BE, DK, ES, FI, FR, IT, NO, NL, UK, RU, SE, CH
Site internet : www.esrf.eu



ESS

European Spallation Source

La source européenne de spallation ESS est une infrastructure de recherche pluridisciplinaire en construction, qui offrira la source de neutrons la plus puissante au monde pour explorer la matière dans de nombreux domaines, des sciences des matériaux à la biologie, de l'étude du patrimoine au magnétisme. ESS sera environ 30 fois plus performante que les installations existantes et ouvrira aux scientifiques de nouvelles possibilités de recherche dans les domaines du magnétisme, de la spectroscopie à ultra-haute résolution (10^{-8} eV), de la physique des particules grâce à l'utilisation de neutrons ultra-froids. Cette installation contribuera également aux thématiques liées à la santé, à l'environnement, à l'énergie, au climat et aux transports. ESS se compose d'un accélérateur linéaire de 600 m de long qui confère une énergie de 2,5 GeV à des protons impactant une cible de tungstène avec une puissance faisceau prévue de 5 MW. Cette source produira des pulses longs de neutrons (2,86 ms à une fréquence de 14 Hz avec un courant crête de 62,5 mA) correspondant à un pic de flux 30 fois supérieur à celui de la source à spallation américaine SNS (impulsions courtes). ESS devrait produire ses premiers neutrons d'ici 2026, accueillir des premiers utilisateurs puis monter en puissance avec l'ouverture progressive des 15 instruments scientifiques prévus jusqu'en 2028.


© Perry Nordeng / ESS

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Création autour de l'ESS et du synchrotron MaxIV d'un important secteur économique regroupant des installations de recherche, universitaires, des entreprises en lien avec l'innovation et la recherche. Dans le cadre de sa construction, plus de 90 % des contrats passés par ESS et ses partenaires in-kind le sont dans des entreprises des 13 pays membres.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://gitlab.com/gitlab-org/gitlab
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données
- Production annuelle de données : 10 Po

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure : Lund (SE)
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, CEA

Directeurs de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Marie-Hélène Mathon, Sylvain Ravy
Année de création : 2014
Année d'exploitation : 2028
Contacts en France : marie-helene.mathon@cea.fr ; sylvain.ravy@cnrs.fr
Site web : https://europeanspallationsource.se

Dimension internationale

ESFRI landmark : European Spallation Source ERIC
Responsable : Helmut Schober (directeur général de ESS)

Pays partenaires : DK, SE, CH, CZ, DE, EE, ES, FR, HU, IT, NO, PL, UK
Site internet : https://europeanspallationsource.se

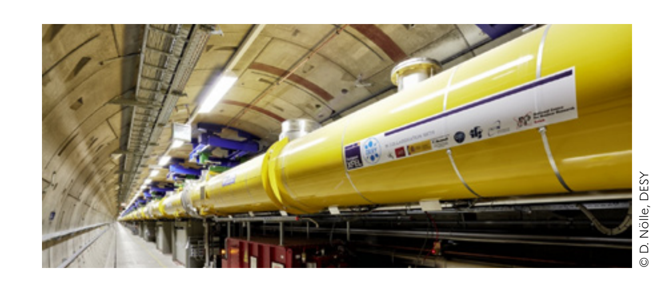


European XFEL

European X-ray Free Electron Laser

L'European XFEL à Hambourg, inauguré le 1er septembre 2017, est la source de rayons X cohérents la plus intense du monde. Cette source de photons, produits sur une large gamme d'énergie (300 eV à 12,4 keV), a une brillance supérieure de 10 ordres de grandeur à celle du rayonnement synchrotron et une durée d'impulsion de quelques dizaines de femto-seconde (fs = 10^{-15} s). Le principe de fonctionnement d'European XFEL est basé sur un accélérateur linéaire supraconducteur d'une longueur de 2 km qui confère une énergie de 17,5 GeV à des paquets d'électrons. Ces électrons génèrent, en traversant des onduleurs, des bouffées de rayons X cohérents grâce au phénomène d'émission spontanée auto-amplifiée (SASE).

Les rayonnements XFEL permettent d'atteindre le suivi à l'échelle de quelques dizaines de fs des états de la matière stimulés par une excitation de lumière (lasers), thermique, magnétique, ou THz. Ceci ouvre la voie à des études sur les phénomènes dynamiques dans la matière jusqu'alors inexplorés par manque



© D. Nölle, DESY

d'outil, comme par exemple : la relation structure-fonction en biologie structurale (photosynthèse) ; la matière en condition de haute densité d'énergie ; la physico-chimie des atomes et molécules isolés ; la dynamique ultra-rapide en magnétisme. C'est une fenêtre unique sur la connaissance de la matière. Six instruments sont maintenant en fonctionnement pour répondre à ces enjeux et en France, leurs utilisateurs potentiels sont issus d'une quarantaine de laboratoires.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Au niveau national, la contribution de la France à la construction de l'infrastructure, portée par le CEA et le CNRS, a associé les partenaires industriels Thalès (France) et RI-Research Instruments (Allemagne) pour la construction, le test et l'intégration en salle blanche de 824 coupleurs assemblés dans 103 cryomodules. L'intégration des 103 cryomodules a fait l'objet d'un transfert industriel du CEA vers la société Alsyom (France).

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle
- Production annuelle de données : 20 Po

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure : Schenefeld (DE)
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, CEA

Directeurs de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Maria Faury, Sylvain Ravy
Année de création : 2009
Année d'exploitation : 2017
Contacts en France : maria.faury@cea.fr, sylvain.ravy@cnrs.fr ;
Site web : www.xfel.eu

Dimension internationale

ESFRI landmark : European XFEL
Responsable : Robert Feidenhans'l (directeur du European XFEL)

Pays partenaires : DE, DK, FR, HU, IT, PL, RU, SK, SE, CH, UK
Site internet : www.xfel.eu



ILL

Institut Max von Laue – Paul Langevin

Infrastructure internationale, l'ILL, avec son réacteur de 58 MW, est une source de neutrons à haut flux qui alimente 40 instruments parmi les plus performants au monde dédiés à l'étude de la structure et de la dynamique de la matière. Elle reçoit des scientifiques du monde entier (1 500 utilisateurs/an – 800 expériences/an). Les recherches couvrent un large domaine scientifique : biologie, chimie, matière molle, physique fondamentale et nucléaire, science des matériaux, magnétisme.

L'ILL reste aujourd'hui la source neutronique de référence au niveau mondial. Pour conserver cette place, le programme de modernisation Endurance a démarré depuis 2016. Il concerne la mise à niveau de nombreux projets instrumentaux, la rénovation de guides mais également l'amélioration du traitement des données.


© ILL

L'ILL reste inégalé de par ses performances, devant le plus récent réacteur européen de recherche (FRM-II en Allemagne), les nouvelles sources à spallation américaine et japonaise (SNS et J-PARC) et la source britannique ISIS. L'ESS en Suède deviendra la source de spallation la plus puissante au monde lorsqu'elle mettra en service ses premiers instruments à l'horizon 2026-28 pour un fonctionnement nominal après 2030.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Développement de contrats de prestations avec l'industrie locale (partenariat avec le CEA-Leti et l'ESRF (IRT NanoElec)). L'ILL est membre d'une SATT. L'impact de l'ILL, est de générer (en plus des 500 postes à l'ILL) 600 emplois induits et indirects dans la région et 400 au niveau national.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 200 To

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Grenoble
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, CEA

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Jacques Jestin
Année de création : 1967
Année d'exploitation : 1971
Contact en France : jestin@ill.fr
Site web : www.ill.eu/fr

Dimension internationale

ESFRI landmark : ILL
Responsable : Paul Langan (directeur général de l'ILL)

Pays partenaires : FR, DE, UK
Site internet : www.ill.eu



SOLEIL

Synchrotron SOLEIL

SOLEIL est le centre français de rayonnement synchrotron situé sur le plateau de Saclay. Il s'agit d'un instrument pluridisciplinaire et d'un laboratoire de recherche ayant pour mission de conduire des programmes de recherche en utilisant le rayonnement synchrotron, de développer une instrumentation de pointe sur les lignes de lumière et de mettre celles-ci à la disposition de la communauté scientifique.

Le rayonnement synchrotron est une lumière extrêmement brillante émise par des électrons de très haute énergie (énergie nominale de 2,75 GeV) circulant à une vitesse proche de celle de la lumière dans un anneau de stockage de 354 m de circonférence.

Le Synchrotron SOLEIL, outil unique à la fois en matière de recherche académique et d'applications industrielles, a ouvert en 2008.



SOLEIL accueille environ 3 000 chercheurs par an qui utilisent le rayonnement synchrotron pour leur recherche dans un large éventail de disciplines telles que la physique, la biologie, la chimie, la science des matériaux, l'astrophysique et l'astrochimie, les sciences de l'environnement, de la terre, du patrimoine, etc.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

SOLEIL a mis en place un Comité d'Orientations Stratégiques et Industrielles (COSIS); la millième expérience industrielle a été accueillie en septembre 2021. SOLEIL propose des ateliers et visites à des élèves depuis l'école primaire jusqu'aux études supérieures (partenariat avec le Rectorat de Versailles) et forme des enseignants des différents cycles en les mettant en contact avec ses chercheurs. SOLEIL forme également 20-30 apprentis par an.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://gitlab.synchrotron-soleil.fr/public
- Production annuelle de données : 1 Po

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Saint-Aubin
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, CEA

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Jean Daillant
Année de création : 2001
Année d'exploitation : 2008
Contact en France : jean.daillant@synchrotron-soleil.fr
Site web : www.synchrotron-soleil.fr



EMIR&A

Fédération des accélérateurs pour l'IRradiation et l'Analyse des molécules et Matériaux

EMIR&A est le réseau français d'accélérateurs dédié à l'étude de l'irradiation des matériaux et des molécules et/ou à leur analyse par des faisceaux d'ions et d'électrons. Il regroupe 15 accélérateurs d'ions et d'électrons couplés à des instrumentations de caractérisation in situ installés sur 11 plateformes, répartis sur 6 sites (Caen, Orléans, Orsay, Palaiseau, Paris, Saclay).

Les installations d'EMIR&A sont complémentaires les unes des autres, en ce qui concerne les particules accélérées, les énergies disponibles et l'instrumentation associée telle que la Microscopie Électronique en Transmission, la spectroscopie Raman, la diffraction de Rayons X, la spectroscopie infrarouge ou l'absorption optique. Cette structure offre un portail unique pour des recherches en physique et chimie des matériaux et des liquides. Les accélérateurs et instruments associés in situ permettent de réaliser des recherches fondamentales et d'autres plus appliquées, soit pour comprendre les modifications induites par les ions et les électrons dans les matériaux et les molécules, soit pour analyser les matériaux avec des ions accélérés. Les applications sont diverses : énergie (y compris l'énergie nucléaire), électronique, spatial, géologie… Les utilisateurs ont accès aux instruments via un portail unique, après évaluation de leur projet par un comité d'évaluation international. Les accélérateurs pour l'analyse par faisceaux d'ions sont également accessibles par des demandes au fil de l'eau.



© C. Baumier

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les accélérateurs du réseau EMIR&A sont accessibles aux acteurs du monde socio-économique via des collaborations académiques. Ces collaborations varient d'une plateforme à l'autre. Il est envisagé de renforcer ces liens en donnant la possibilité aux industriels d'accéder aux plateformes directement via le portail d'EMIR&A. Nous étudions également la possibilité d'intégrer à notre réseau des accélérateurs gérés par des plateformes industrielles.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 330 Go

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Villeurbanne

Localisation des autres sites (en France) : Caen, Orléans, Orsay, Palaiseau, Paris, Saclay

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Nathalie Moncoffre

Année de création : 2014

Année d'exploitation : 2014

Tutelles/Partenaires : Université de Caen Normandie, Université Paris-Saclay, Sorbonne Université, Université de Paris, École nationale supérieure d'ingénieurs de Caen, École polytechnique, CEA

Contact en France : n.moncoffre@ipnl.in2p3.fr

Site web : https://emira.in2p3.fr/?lang=fr



Infranalytics

Fédération nationale des équipements analytiques à très haut champ magnétique

Infranalytics est une infrastructure de recherche distribuée intégrant, dans un large réseau de 18 unités de recherche reconnues internationalement, les équipements analytiques RMN, RPE et FT-ICR MS à très haut champ magnétique les plus performants. Elle offre un accès centralisé et une expertise à une large communauté de chercheurs académiques et industriels, experts et non-experts. Ces instruments offrent la possibilité de caractériser avec une précision, une résolution et une fiabilité inégalées, les structures moléculaires complexes et les relations structure, activité, fonction, propriété en chimie moléculaire, sciences des matériaux ou sciences de la vie, ouvrant de vastes champs d'applications dans les domaines de la santé, l'environnement, l'énergie, les matériaux innovants, le patrimoine, etc. Le réseau constitue un lieu d'échanges interdisciplinaires en chimie, physique, biologie, sciences de la Terre au plus haut niveau scientifique, où sont mutualisées des techniques et des compétences complémentaires.



Les missions de la fédération sont l'accueil des scientifiques via des demandes de temps expertisées ; le développement méthodologique, instrumental et informatique ; la formation ; la mise en place d'une politique de données et de science ouverte ; une politique coordonnée des investissements afin de maintenir une instrumentation à la toute pointe de la technologie sur le territoire français.

Certains sites d'Infranalytics font aussi partie des infrastructures Européennes Instruct-ERIC (ESFRI landmark), iNEXT-discovery, EU FT-ICR MS, PANACEA et MOSBRI.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les laboratoires du réseau ont de multiples relations avec des acteurs économiques, que ce soit des multinationales, ou des acteurs locaux. L'infrastructure mène une politique centralisée proactive vers les industriels (journées des industriels, participation à des rendez-vous de la R&D pour les entreprises). Des développements instrumentaux ou méthodologiques se font avec les constructeurs, qui se traduisent par l'ouverture de nouveaux marchés.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 200 To

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Gif-sur-Yvette

Localisation des autres sites (en France) : Grenoble, Marseille, Metz, Mont-Saint-Aignan, Orléans, Orsay, Palaiseau, Paris, Pessac, Strasbourg, Villeneuve-d'Ascq, Villeurbanne

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Carine van Heijenoort

Année de création : 2022

Année d'exploitation : 2022

Tutelles/Partenaires : CEA, École normale supérieure de Paris, École normale supérieure de Lyon, École polytechnique, Université de Lille, Université Grenoble Alpes, Université Claude Bernard - Lyon 1, Sorbonne Université, Université Paris-Saclay, Université de Rouen Normandie, Université de Bordeaux, Aix-Marseille Université, Université de Strasbourg, Université de Lorraine, Centrale Lille Institut, Institut national des sciences appliquées de Rouen Normandie, Université d'Artois, INSERM

Contact en France : carine.van-heijenoort@cnrs.fr

Site web : https://infranalytics.fr



LMJ-PETAL

Laser Mégajoule – PETawatt Aquitaine Laser

LMJ-PETAL associe, autour d'une même chambre d'expériences, les faisceaux laser de forte énergie du Laser Mégajoule (LMJ), un faisceau laser ultra-bref de très forte puissance (PETAL) et un ensemble de moyens de mesure à très hautes résolutions spatiale et temporelle. L'ensemble constitue une infrastructure expérimentale unique en Europe, dédiée à l'étude de la physique des hautes densités d'énergie. Cette infrastructure est ouverte, pour environ 25 % de son temps, à des propositions d'expériences soumises par la communauté scientifique internationale sur appel à projets.

Le Laser Mégajoule a été conçu par la Direction des Applications Militaires (DAM) du CEA pour répondre aux besoins du programme Simulation, destiné à apporter la garantie de sûreté et de performance des armes de la dissuasion française sans nouvel essai nucléaire. Mis en service en 2014, le LMJ voit ses performances régulièrement augmentées vers sa pleine capacité (176 faisceaux, 1.32 MJ); il réalise en 2022 ses premières expériences à 80 faisceaux et 300 kJ. Le faisceau PETAL (Petawatt Aquitaine Laser) a été conçu et réalisé par le CEA avec des financements du Conseil Régional de Nouvelle Aquitaine, de l'État, et de l'Union Européenne. Il délivre une impulsion lumineuse de durée sub-picoseconde et de 400 J d'énergie. Les plasmas à très haute densité d'énergie qui sont créés par ces faisceaux laser sont caractérisés (en particules chargées, neutrons, rayonnements visibles et X) par 18 instruments de mesure.



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

La mission première du LMJ est de fournir les données expérimentales nécessaires au programme Simulation de la DAM. Par ailleurs, dans le cadre des expériences académiques qu'il accueille pour 25 % de son temps, il contribue aux recherches autour de l'énergie de fusion, par la voie dite du confinement inertiel.

LMJ-PETAL constitue un catalyseur pour l'écosystème du Pôle de compétitivité Route des Lasers et des Hyperfréquences, dont il est membre.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 50 Go

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Le Barp
Établissement(s) français porteur(s) : CEA

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Jean-Pierre Giannini
Année de création : 2005
Année d'exploitation : 2017
Contact en France : UserLMJ@cea.fr
Site web : www-lmj.cea.fr



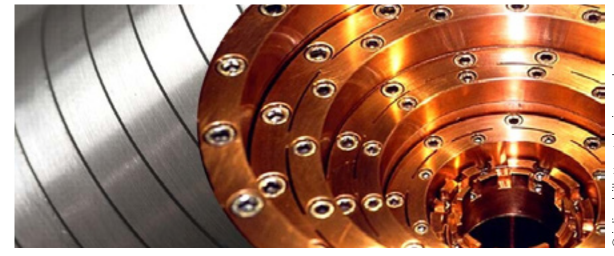
LNCMI

Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses

Le Laboratoire National des Champs Magnétiques Intenses (LNCMI) est une infrastructure de recherche qui accueille des scientifiques du monde entier pour des expériences en champ intense. Le LNCMI est la plus grande infrastructure européenne de recherche sous champs intenses et deuxième au niveau mondial, derrière le NHMFL (USA) ; elle fait partie de l'infrastructure European Magnetic Field Laboratory (EMFL, ESFRI landmark), créée en 2015. Sur le site de Grenoble, le LNCMI offre des champs magnétiques statiques allant jusqu'à 36 T et sur le site de Toulouse, des champs magnétiques pulsés allant jusqu'à 91 T de manière non-destructive et 180 T de manière semi-destructive.

Le LNCMI :

– assure le développement des installations électrotechnique et hydraulique, des aimants ainsi que l'instrumentation scientifique pour les mesures physiques sous champs magnétiques intenses ;
– donne l'accès aux installations des champs intenses à des utilisateurs via des appels à projet ;



© julien billette et denis morel, photothèque du CNRS

– soutient l'implémentation, l'interprétation et la valorisation des expériences. De nombreuses expériences de mesures physiques sous champs intenses sont disponibles (spectroscopie UV-VIS-NIR-THz, RMN, RPE, aimantation, transport, chaleur spécifique…).

Les communautés utilisatrices principales sont celles des supraconducteurs, de la physique des semi-conducteurs et des nanostructures, et du magnétisme.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Contrats ponctuels avec des entreprises travaillant dans le magnétoformage, la purification d'eau, les câbles supraconducteurs, l'horlogerie, les composants électrotechniques haute puissance/haut voltage.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 100 Go

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Grenoble
Localisation des autres sites (en France) : Toulouse
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Charles Simon
Année de création : 2009
Année d'exploitation : 2009
Tutelles/Partenaires : Université Grenoble-Alpes, Université Toulouse III Paul Sabatier, Institut des Sciences Appliquées Toulouse
Contact en France : direction@lncmi.cnrs.fr
Site web : http://lncmi.cnrs.fr

Dimension internationale

ESFRI landmark : EMFL
Responsable : Peter Christianen (coordinateur de l'EMFL)

Pays partenaires : DE, NL, UK, PL, FR
Site internet : http://emfl.eu



METSA

Microscopie Électronique en Transmission et Sonde Atomique

Le CNRS et le CEA en concertation avec le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche a mis en place un réseau de Plateformes de Microscopie Électronique et Sonde Atomique de haut niveau dont les objectifs sont multiples. Il doit permettre :

– d'offrir aux chercheurs académiques et industriels de la communauté nationale et internationale l'accès à des moyens uniques en microscopie électronique en transmission (MET) et sonde atomique tomographique (SA) associés à des compétences scientifiques permettant de répondre à des problèmes (physique, science de la matière condensée, sciences de la Terre et de l'univers, environnement, biophysique…) qui ne trouvent pas de réponse dans les techniques de MET « conventionnelles » en prenant en charge les coûts d'utilisation des appareillages et des missions ;
– d'inciter aux développements instrumentaux, méthodologiques et en modélisation spécifiques à la MET puis en faire bénéficier toute la communauté ;
– d'impulser toute forme de formation (stages, workshops…) et de communication (développement d'un site web, opérations de communication, articles scientifiques et de vulgarisation…) sur les dernières potentialités en matière de MET ;
– de conseiller à leurs demandes, les tutelles ou les équipes-projets pour l'implantation de nouveaux équipements MET et leurs applications en vue de favoriser tout effort de mutualisation, de développement et de complémentarité à partir de l'environnement existant.



© Direction de METSA

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Des chercheurs du monde académique ou industriel peuvent avoir accès à METSA via le processus d'appel à demandes d'expériences deux fois par an. Dans la mesure où les projets soumis sont validés par le comité d'experts, peuvent être conduits sur les différentes plateformes de la fédération de recherche des études fondamentales tout comme des analyses de haute technicité dans des domaines en lien direct avec des applications industrielles.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 100 To

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Orsay
Localisation des autres sites (en France) : Caen, Grenoble, Lyon, Marseille, Paris, Rouen, Strasbourg, Toulouse
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Williams Lefebvre
Année de création : 2009
Année d'exploitation : 2009
Tutelles/Partenaires : CEA, Université Paris-Saclay, Aix-Marseille Université, Normandie Université, Université de Strasbourg, Université de Paris, Université de Lyon,
Contact en France : williams.lefebvre@univ-rouen.fr
Site web : http://metsa.prod.lamp.cnrs.fr

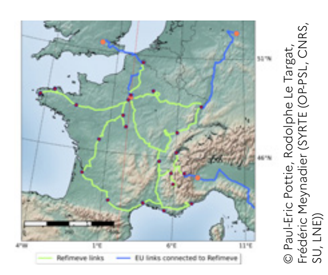


REFIMEVE

Réseau Fibré Métrologique à Vocation Européenne

Basé sur une rupture technologique majeure, REFIMEVE – Réseau Fibré Métrologique à Vocation Européenne – est un grand instrument national porté par le Laboratoire de Physique des Lasers. Il permet de transmettre sans dégradation, via le réseau de fibres optiques de RENATER, un signal de fréquence ultrastable et exact généré par le SYRTE, laboratoire national de métrologie Temps-Fréquence, avec une précision pouvant atteindre 10^{-17}-10^{-18}. Ce service sera étendu à la dissémination d'un signal de temps de haute performance. Les champs scientifiques bénéficiaires sont très variés : physique fondamentale, technologies quantiques, photonique, géodésie et climat, environnement, astronomie et VLBI, accélérateurs…

Grâce à la mutualisation du réseau de RENATER et l'accès aux références métrologiques du SYRTE, REFIMEVE permet un effet démultiplicateur considérable en délivrant un service de qualité unique au monde à des laboratoires et IR répartis sur le territoire national. Des interconnexions



© Paul-Eric Pottie, Rodolphe Le Targat, Frédéric Meynadier (SYRTE (OP-PSL, CNRS, SU, LNE))

à plusieurs pays européens sont déjà opérationnelles (consortium CLONETS).

Les investissements de REFIMEVE reposent sur un Equipex REFIMEVE+ et le projet T-REFIMEVE du PIA3 « Equipements Structurants pour la Recherche/Equipex+ ». On estime à 500 chercheurs la taille de la communauté nationale utilisatrice dans plus d'une trentaine de laboratoires sans compter les futurs utilisateurs des IR* SOLEIL, ESRF, IRAM ainsi que du CERN.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Grâce à un transfert de savoir-faire réussi, des versions industrielles des équipements REFIMEVE ont été réalisées par un consortium de 3 PME françaises. Celles-ci disposent, grâce au réseau REFIMEVE, d'une vitrine de valorisation de leurs produits et ont ouvert un marché à l'international (UE, USA, Chine, notamment) en pleine expansion.

Par ailleurs, des connexions de REFIMEVE vers plusieurs utilisateurs industriels sont envisagés à court terme.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 1 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Villetaneuse

Localisation des autres sites (en France) : Besançon, Brest, Gif-sur-Yvette, Grenoble, Lannion, Le Dévoluy, Marseille, Meyrin (CH), Nançay, Nice, Orsay, Palaiseau, Paris, Rennes, Saint Martin d'Hères, Saint-Vallier de Thiey, Talence, Toulouse, Villeneuve d'Ascq

Établissement(s) français porteur(s) : Université Sorbonne Paris Nord, Observatoire de Paris, PSL, CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Anne Amy-Klein

Année de création : 2012

Année d'exploitation : 2015

Tutelles/Partenaires : RENATER, Laboratoire national de métrologie et d'essais, Sorbonne Université

Contact en France : amy@univ-paris13.fr

Site web : www.refimeve.fr/index.php/fr

Dimension internationale

Consortium CLONETS

Pays partenaires : FR, DE, IT, UK, PL, ES, CZ

Site internet : www.clonets.eu



RENATECH+

Réseau national des centrales de technologies de nanofabrication

L'infrastructure RENATECH+ est issue du réseau RENATECH, comportant 5 grands centres de nanofabrication académiques totalisant 8 300 m^2 de salles blanches, localisées au C2N (Palaiseau), à FEMTO-ST (Besançon), à l'IEMN (Lille), au LAAS (Toulouse) et au LTM (Grenoble). Un second cercle de 27 centres «régionaux» de plus petite taille a été rajouté pour former le réseau RENATECH+. Via le site web de RENATECH, ce réseau élargi offre à tout utilisateur des nanosciences et nanotechnologies (en France, 4 700 chercheurs, ingénieurs et techniciens et 108 entreprises utilisatrices), un service de micro- et nanofabrication permettant la réalisation de nanodispositifs, circuits et systèmes. Les missions de RENATECH+ visent à : (i) constituer et gérer un parc d'équipements à l'état de l'art, (ii) assurer un accès aisé à ses utilisateurs, (iii) promouvoir le partage des expertises techniques en nanofabrication, (iv) diffuser ces connaissances auprès du grand public. L'expertise spécialisée apportée par les nouveaux partenaires


© Cyril FRESILLON/CNRS Photothèque

permet de renforcer le service aux utilisateurs et la cohérence du dispositif de nanofabrication national. Leurs personnels sont intégrés aux groupes d'experts technologiques de RENATECH. Sur le plan international, RENATECH+ est leader du consortium européen «EuroNanoLab» (44 partenaires dans 14 pays) visant à faciliter l'accès aux moyens de nanofabrication localisés à l'étranger et à soutenir collectivement des projets de R&D internationaux.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

RENATECH+ est une ressource clé du monde socio-économique, notamment pour les secteurs nécessitant des nanotechnologies (santé, informatique, télécommunications, transports ou sécurité). Chaque année, l'infrastructure est utilisée par plus de 100 entreprises (grands groupes et PME) sous forme de prestations de service ou de collaborations scientifiques, afin de réaliser les démonstrateurs nécessaires pour démarrer des activités innovantes.

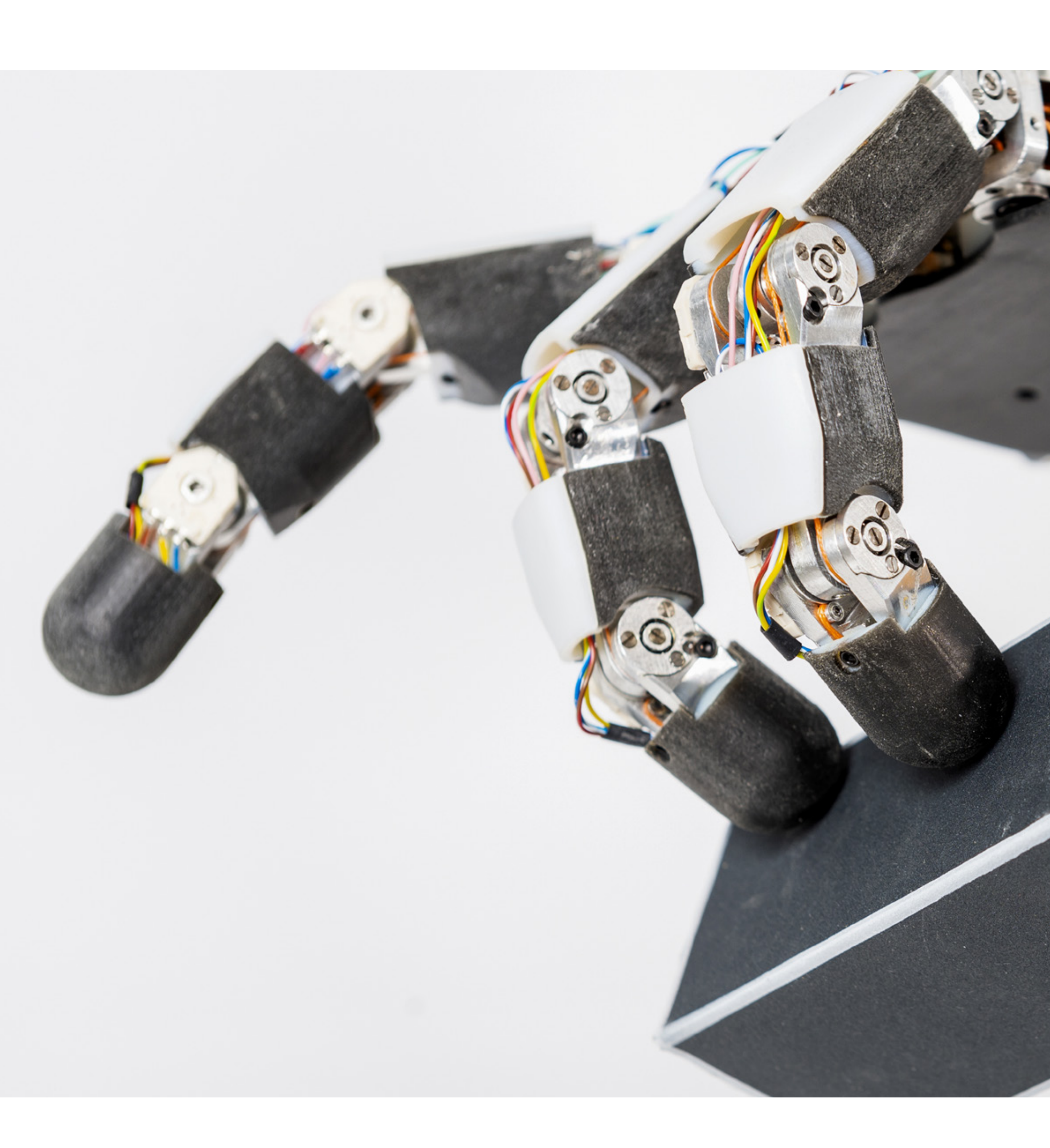
Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Localisation des autres sites (en France) : Besançon, Grenoble, Palaiseau, Toulouse, Villeneuve-d'Ascq
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Michel de Labachelerie
Année de création : 2004
Année d'exploitation : 2004
Tutelles/Partenaires : Université Paris-Saclay, Université Grenoble Alpes, Université de Franche-Comté, École nationale supérieure de mécanique et des microtechniques, Université de Lille, Junia, Université Polytechnique Hauts-de-France, Centrale Lille Institut
Contact en France : michel.labachelerie@cnrs-dir.fr
Site web : www.renatech.org

Dimension internationale

Consortium EuroNanoLab

Pays partenaires : NO, SE, FI, EE, LT, LV, NL, CZ, FR, PT, ES, IT, RO, DE
Site internet : https://euronanolab.eu



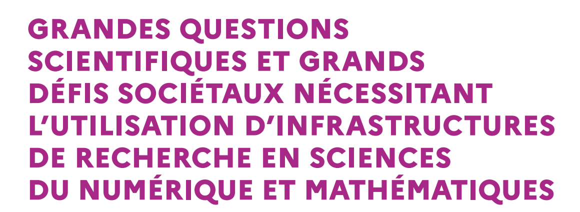


7. Sciences du numérique et mathématiques

Sciences du **numérique** et **mathématiques**

Les infrastructures de recherche pour les sciences du numérique et mathématiques sont indispensables pour le développement accéléré des ruptures scientifiques et ruptures technologiques, pour construire les technologies et services numériques nécessaires à la transition numérique dans les domaines concernés, pour favoriser l'optimisation des ressources dans différentes industries, et pour soutenir les différentes sciences humaines et de l'environnement dans leurs avancées scientifiques, et cela avec des moyens de calculs et des outils d'analyse de plus en plus performants et accessibles en local ou à distance.





GRANDES QUESTIONS SCIENTIFIQUES ET GRANDS DÉFIS SOCIÉTAUX NÉCESSITANT L'UTILISATION D'INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE EN SCIENCES DU NUMÉRIQUE ET MATHÉMATIQUES

Dans la recherche, comme dans tous les domaines de la société, le numérique ou encore l'information et la technologie des communications est devenue un facteur clé du développement économique, industriel, individuel et sociétal ; c'est l'outil de construction de la société de demain qui amène un nouveau modèle basé sur le numérique pour la création, l'utilisation, l'accès et la consommation de divers services. Cette transformation s'accompagne naturellement de différents changements comme la façon de travailler, d'étudier, d'inventer, de créer, d'innover et de se divertir. La transformation numérique est au cœur des évolutions de différentes industries ; certaines sont représentées dans la figure 1 de la société savante IEEE des sciences du numérique avec des technologies numériques clés telles que le Web, les réseaux de communications fixes et mobiles, les infrastructures du cloud, etc. Le développement de ces technologies nécessite une recherche active des sciences du numérique et mathématiques représenté dans la figure 2 avec les différentes communautés de recherche du paysage national des sciences du numérique et mathématiques.

En effet, le numérique est une conjonction réussie de l'aboutissement de la recherche dans les domaines du matériel électronique, du signal électrique/électromagnétique/optique, du logiciel informatique, de l'algorithmique et langages de programmation, des mathématiques, de la physique et de la communication réseau, pour fournir les applications et services de communication, l'échange et partage de données diverses (multimédia), le web, les réseaux sociaux, les équipement intelligents pour différentes industries de l'économie et pour une société de plus en numérique.

Le numérique fait aussi évoluer le *modus operandi* de la recherche scientifique en fournissant de nouvelles possibilités de collaboration répartie géographiquement et le partage des données. La science axée sur les données, avec un accès de plus en plus ouvert aux données et aux résultats scientifiques va transformer non seulement la façon dont la recherche est menée (approche réductionniste *vs* holistique), mais aussi sa portée globale comme indiqué sur la figure 3.

L'investissement dans les infrastructures de recherche pour les sciences du numérique

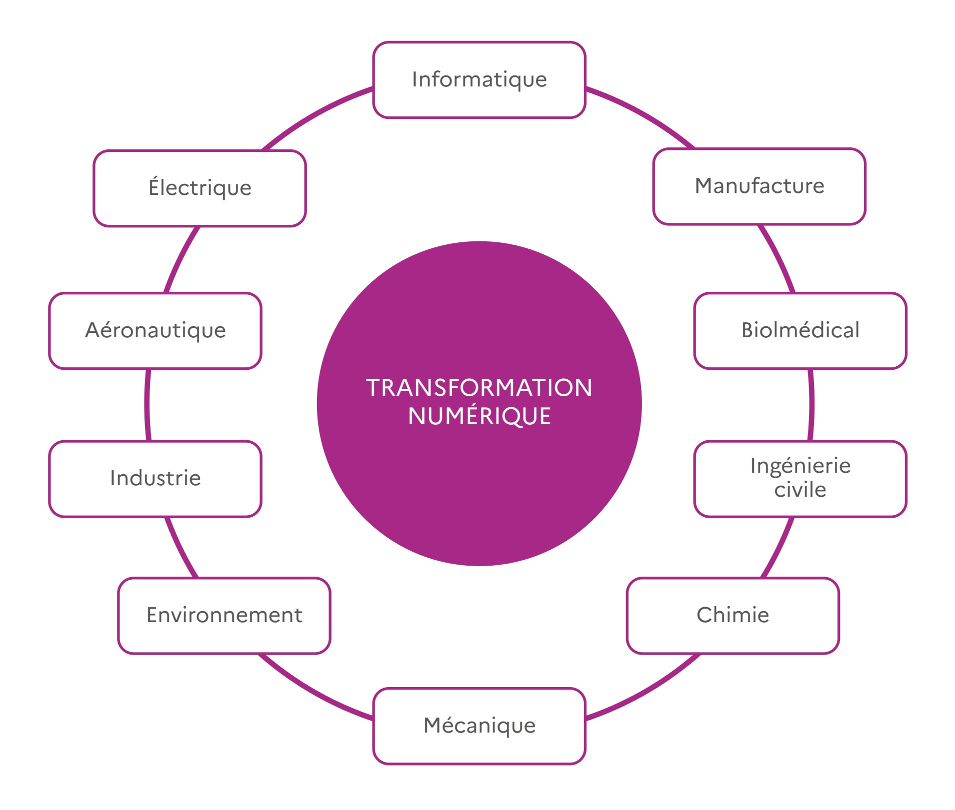


Figure 1 : Les grands domaines Industriels en transformation numérique.

et mathématiques est une garantie de développement accéléré des ruptures scientifiques et ruptures technologiques pour construire les technologies et services numériques nécessaires à la transition numérique dans les domaines concernés, pour favoriser l'optimisation des ressources dans différentes industries, pour soutenir enfin les différentes sciences humaines et de l'environnement dans leurs avancées scientifiques, avec des moyens de calculs et des outils d'analyse de plus en plus performants et accessibles en local ou à distance. Le développement du numérique pour répondre à des besoins socio-technologiques nécessite une compréhension et une construction des liens optimisés entre les différents niveaux de l'évolution du numérique depuis le matériel, le logiciel, la communication de l'information et son usage par l'individu ou les communautés (groupes, organisations, etc).

POSITIONNEMENT DE CHAQUE INFRASTRUCTURE DE RECHERCHE DU PAYSAGE

SILECS/ESFRI SLICES

La communauté de recherche en informatique, réseaux et communication, système réparti et transmission avec l'Infrastructure de recherche **SILECS** coordonnée par l'INRIA, est un réseau connectant différents équipements de communication, de stockage et de traitement des informations.
Elle déploie différentes technologies de communication, différentes plateformes matérielles et logicielles ; à la différence des moyens de communication (comme **RENATER**, GEANT, Internet) et de calcul numérique (comme GENCI, Google Cloud, OVH Cloud, etc.), les équipements de **SILECS** sont tous programmables selon les besoins des expériences des chercheurs.
Cette IR a pour but de fournir les moyens d'expérimenter les nouvelles approches recherche pour une optimisation et une amélioration des performances et pour développer de nouvelles briques technologiques des plateformes du numérique offrant des services en production, de communication, de la sécurité et la stabilité du stockage, de transmission ou de traitement des informations.
Elle ambitionne aussi de résoudre des problématiques de gestion d'énergie et la réduction de l'empreinte carbonne de ses équipements numériques connectés, ainsi que d'expérimenter de nouvelles solutions de récupération d'énergie ambiante en collaboration avec les communautés



Figure 2[1] : Paysage des sciences du numérique et mathématiques en fonction des briques[2] technologiques du numérique à développer (3 IR candidates SILECS, Robotex 2.0, CONTINUUM).

de recherche en création et gestion de l'énergie électrique. SILECS fournira également une palette d'outils ouverts de débogage et monitoring en tous points facilitant la recherche reproductible.
Cette Infrastructure de recherche a aussi intégré en 2021 la feuille de route européenne ESFRI en tant que SLICES avec une coordination par INRIA et Sorbonne université. La figure 4 ci-dessous fournit les éléments caractérisant cette infrastructure.

Robotex 2.0

La communauté de recherche en robotique avec l'infrastructure de recherche **Robotex 2.0** coordonnée par le CNRS, vise à développer des plates-formes robotiques pour favoriser différentes expérimentations recherche.
Une coordination nationale de leur libre accès (accès physique, accès numérique, open-data et logiciels ouverts) est prévue pour rassembler et fédérer les efforts de recherche de cette communauté. L'infrastructure de recherche

1 Représentation des communautés de recherche en fonction des besoins de moyens communs d'expérimentation scientifique.

2 Composant électronique, équipement télécom, équipement robotique, équipement IHM, traitement de signal, communication réseau, données et simulations, données et IA…

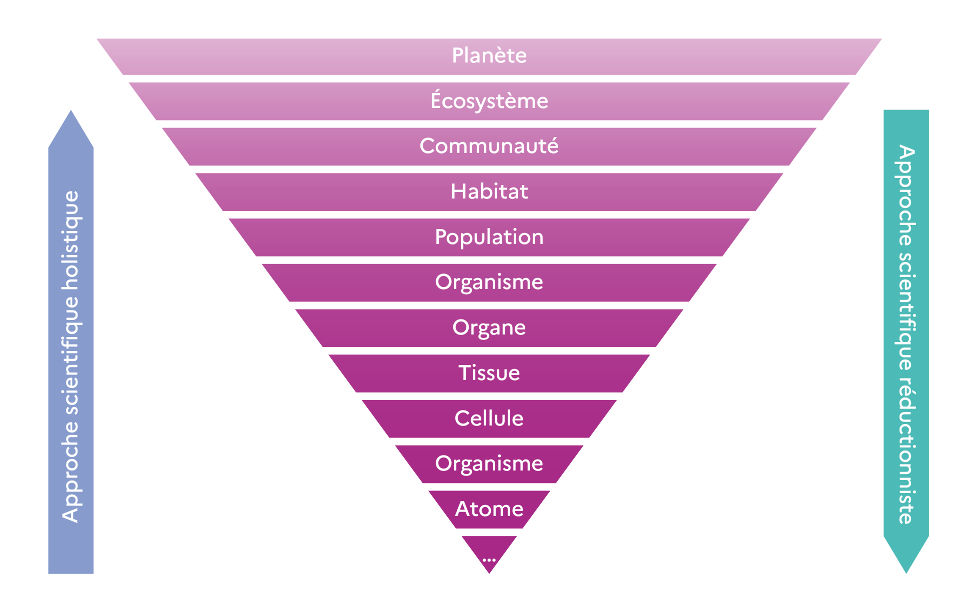


Figure 3 : Les approches scientifiques holistique *vs* réductionniste[3].

est structurée en six axes thématiques : robotique humanoïde, robotique XXL, micro-nano robotique, robotique terrestre autonome, robotique aérienne et robotique médicale. En plus de ces axes, trois axes transversaux sur le Prototypage et la Conception, l'Infrastructure Ouverte et la Manipulation irrigueront les autres axes thématiques. Des plateformes expérimentales ciblées proposeront un jumeau numérique à des fins de simulation, et parfois même des services expérimentaux à distance. Une coordination dans le développement de logiciels et le libre accès aux tests expérimentaux sera également effectuée. La figure ci-dessous fournit les éléments saillants de cette IR candidate **Robotex 2.0**.

CONTINUUM

La communauté de recherche en interface homme machine avec l'infrastructure de recherche **CONTINUUM** coordonnée par le CNRS, propose de créer une infrastructure de recherche collaborative de 30 plateformes réparties dans toute la France, pour faire avancer la recherche interdisciplinaire basée sur l'interaction entre l'informatique et les sciences humaines et sociales. Grâce à **CONTINUUM**, plusieurs équipes de recherche développeront des programmes de recherche de pointe axés sur la visualisation, l'immersion, l'interaction et la collaboration, ainsi que sur la perception humaine, la cognition et le comportement en réalité virtuelle/augmentée, avec un impact potentiel sur les enjeux sociétaux. **CONTINUUM** permet un changement de paradigme dans la façon dont nous percevons, interagissons et collaborons avec des données numériques complexes et des mondes numériques en plaçant les humains au centre des flux de travail de traitement des données. **CONTINUUM** dotera les scientifiques, les ingénieurs et les utilisateurs de l'industrie d'un réseau hautement interconnecté de plates-formes de visualisation haute performance et immersives pour observer, manipuler, comprendre et partager des données numériques, des simulations multi-échelles en temps réel et des expériences virtuelles ou augmentées. La figure 5 ci-dessous fournit les éléments saillants de cette IR **CONTINUUM**.

Autres communautés de recherche des sciences du numérique et mathématiques

Les communautés des sciences du numérique et mathématiques telles que représentées

3 National Science Foundation : Science meets Society : Biotechnology, Information technology, Nanotechnology, etc.



Figure 4 : Éléments saillants de l'infrastructure de recherche SILECS/ESFRI SLICES.

dans la figure 2 utilisent les infrastructures de recherche de cette feuille de route nationale ; SILECS, ROBOTEX, CONTINUUM mais aussi les infrastructures numériques et e-infrastructure présentés dans l'analyse de paysage des services et infrastructures numériques. En effet, selon les besoins d'expérimentation recherche, les chercheurs utilisent les moyens de stockage et de calcul mis à disposition par les différentes infrastructures numériques comme RENATER, GENCI et les Mésocentres. D'autres infrastructures spécifiques au domaine de recherche comme l'infrastructure de recherche RENATECH ; en intersection entre les sciences de la matière et l'ingénierie et les sciences du numérique et mathématique, sont utilisées par les chercheurs de la communauté de recherche en électronique, nanoscience et nanotechnologie.
Concernant la communauté de recherche en mathématiques, le projet d'infrastructure de recherche Times inscrit dans la feuille de route 2018 et que portait le CNRS, a été reporté afin de mieux asseoir les bases de cette infrastructure et en mobiliser plus fortement les partenaires. En effet, la présence d'une infrastructure de recherche pour les sciences de mathématiques dans le paysage des infrastructures de recherche est indispensable, et peut s'adosser sur le rôle structurant, reconnu par l'ensemble de la communauté, de l'INSMI du CNRS. Une telle infrastructure devrait avoir vocation à fédérer les divers outils utilisés par la communauté :

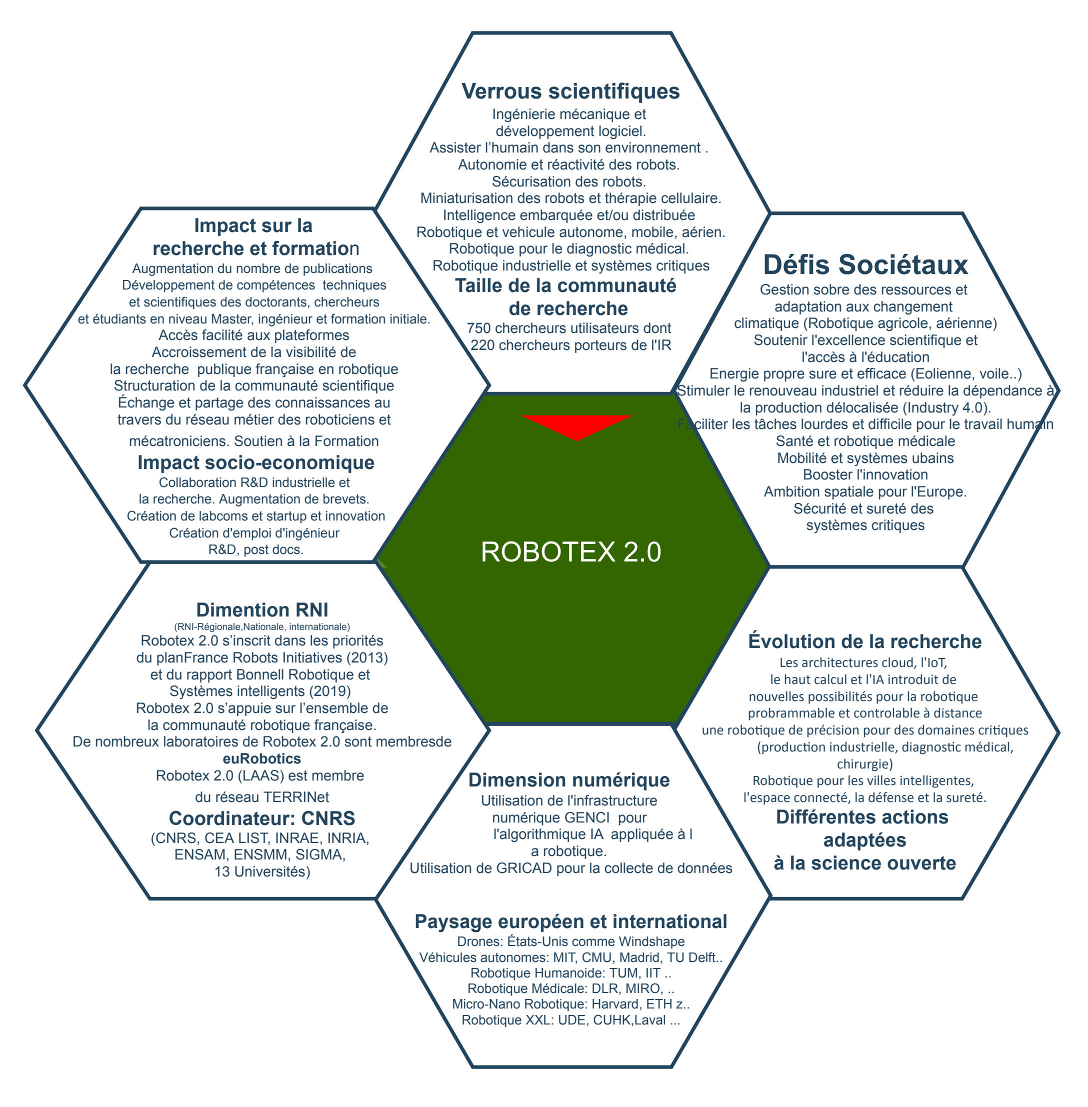


Figure 5 : Éléments saillants de l'infrastructure de recherche Robotex 2.0

centre de conférences (IHP, CIRM), centre d'excellence (IHES), organisme de promotion de la recherche en mathématiques dans les pays en développement (CIMPA), centre de diffusion de l'information scientifique (Mathdoc-Mersenne) et agence de promotion du transfert industriel (Amies). Une telle fédération renforcerait visibilité et cohérence de l'ensemble, ce qui est un atout pour assurer un leadership international. Concernant la communauté de recherche en algorithmique IA et science de la donnée, celle-ci est déjà utilisatrice des infrastructures numérique GENCI et des méso-centres. Des besoins spécifiques d'expérimentation recherche justifieraient l'entrée dans le futur d'une infrastructure de recherche dédiée aux différents besoins scientifiques de format, stockage et traitement des données (sous la forme d'un Cloud IA). Concernant la communauté de recherche en sécurité informatique et cybersécurité, celle-ci a entamé une cartographie des plateformes pour faire émerger une proposition de projet d'infrastructure de recherche pour l'expérimentation des chercheurs en cybersécurité. Ce projet sera basé sur les avancés de plusieurs projets nationaux et européens déjà en cours et viendrait renforcer les besoins en expérimentation des chercheurs actifs dans le programme prioritaire de recherche de la stratégie nationale en cybersécurité. Concernant la communauté de recherche en quantique et photonique, il serait important d'identifier les besoins en expérimentation

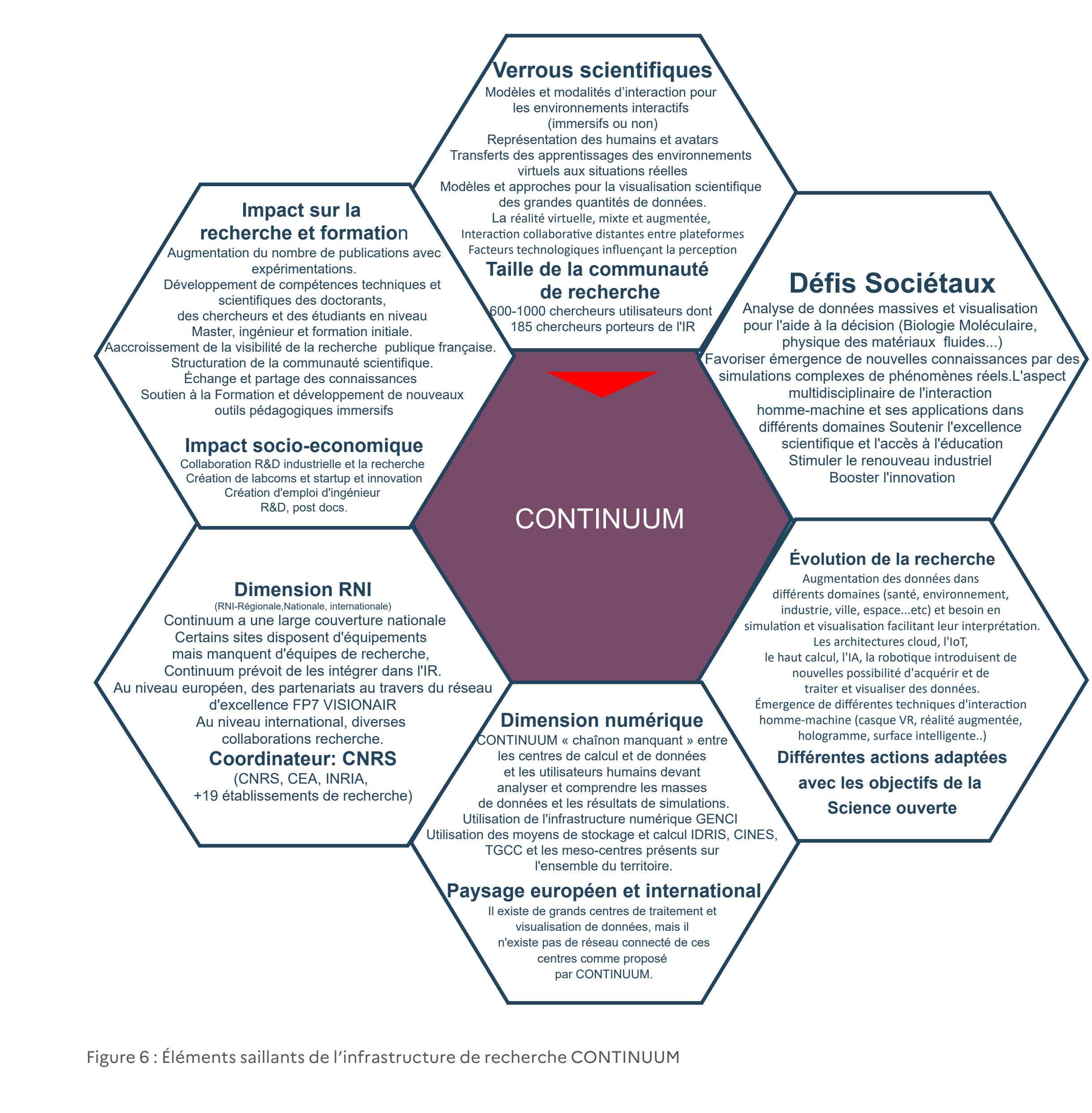


Figure 6 : Éléments saillants de l'infrastructure de recherche CONTINUUM

recherche et les interactions avec les autres infrastructures numériques. Notons qu'au niveau européen, le programme Horizon Cluster 4 ouvre entre autres projets, un appel pour deux FPA/SGA Framework Partnership Agreement (total 38 M euros pour 2022-2025) sur les thèmes des capacités de production et de tests de composants quantiques ; l'idée est de monter deux consortiums puis fédérer et développer les existants en réseau. La déclinaison française tourne autour des salles blanches et autres ateliers de RENATECH, RENATECH+ et dispositifs du CEA (LETI Grenoble et Saclay). Il y a aussi côté informatique quantique EUROHPC QS avec une déclinaison française portée par GENCI pour réaliser d'ici cinq années, une plateforme de calcul hybride c'est-à-dire un accélérateur quantique à au moins de 100 qubits intégré dans deux supercalculateurs (un au TGCC pour la France et un à Jülich pour l'Allemagne) ; cette plateforme sera « ouverte » via un accès par réseau et les projets incluent la pile logicielle, les interfaces utilisateurs et le développement des cas d'usage.

MANQUES POTENTIELS À COMBLER, LES ORIENTATIONS POUR LES 5 PROCHAINES ANNÉES

Pour assurer une évolution lisse des infrastructures de recherche, il est important d'analyser les synergies possibles entre

les trois infrastructures comme représenté sur la figure 7 ci-dessous. Il serait aussi utile d'analyser les liens possibles sur la partie ressources de communication, de stockage de données et de calcul des infrastructures de recherche ROBOTEX et CONTINUUM et voir si l'infrastructure de recherche SILECS pourrait répondre à certains de ces besoins. À l'inverse, les infrastructures de recherche ROBOTEX et CONTINUUM pourraient apporter pour SILECS certains cas d'usage avec des problématiques de recherche pour les réseaux et systèmes distribués comme les communications fiables et critiques en robotique ou les communications à très haut débit pour la réalité virtuelle et augmentée. D'un autre côté, l'experimentation de recherche sur les données de simulation et jumeaux numériques est une zone d'intersection à analyser entre ROBOTEX et CONTINUUM. Enfin, les interface homme-machine utilisées dans ROBOTEX et CONTINUUM sont aussi à rapprocher quand c'est possible. Il serait aussi intéressant d'investiguer dans le futur les liens avec les e-infrastructures GENCI, Mésocentre, et les autres infrastructures de recherche du domaine SILECS, ROBOTEX et CONTINUUM pour des expérimentations de recherche allant du composant jusqu'au service pour mieux assurer l'évolution de ces infrastructures de recherche et infrastructures numériques afin de répondre aux besoins d'expérimentation scientifique en évolution continue.
Les verrous scientifiques portés par chacune de ces trois infrastructures de recherche évoluent selon les besoins scientifiques de chacun des domaines adréssés par chacune de ces infrastructures. Enfin, les plateformes d'experimentation de recherche basées sur des outils de simulation ou d'émulation évoluent avec l'augmentation physique des capacités de calcul, il est important de voir comment ces infrastructures de recherche basées sur des équipements pourraient s'interfacer avec les émulateurs et simulateurs pour offrir plus de possibilités d'experimentation de recherche et éventuellement réduire certains coûts d'équipements.

Les cinq prochaines années verront évoluer en France plusieurs stratégies d'accéleration industrielles dont la stratégie 5G et réseaux du futur, la stratégie Cloud, la stratégie cybersécurité, la stratégie quantique, la stratégie des industries culturelles et créatives, la stratégie robotique, la phase 2 de la statégie IA, la stratégie micro électronique, etc. Une analyse de l'apport de ces infrastructures de recherche pour la recherche

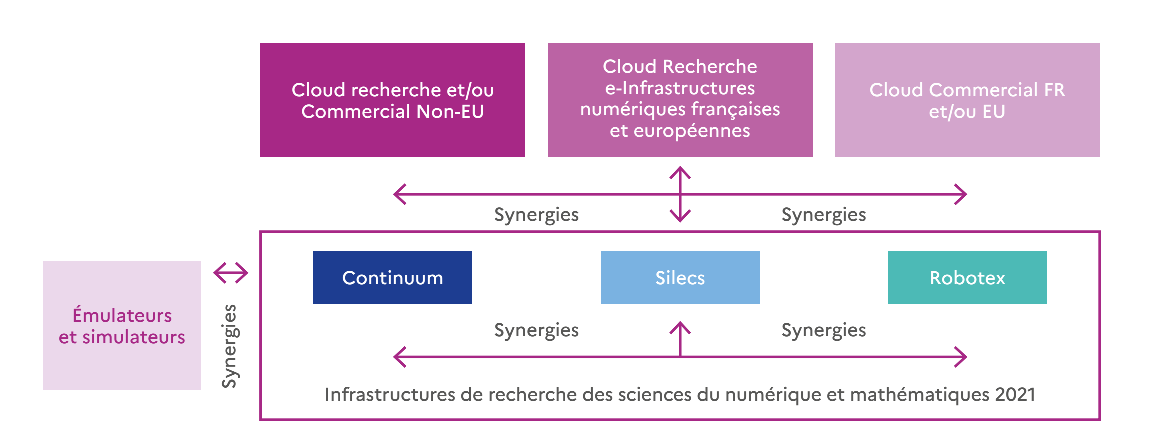


Figure 7 : Synergie entre les trois infrastructures de recherche et les moyens numériques externes.



scientifique adressée dans les PEPR de ces stratégies est à mener pour bien accompagner cette recherche par l'experimentation et accélerer les résultats.

Une cartographie des plateformes d'experimentation des autres domaines comme la cybersécurité, l'IA, le quantique, l'instrumentation et la mesure physique, les mathématiques, serait nécessaire.

Enfin quelques élements de gestion des informations de l'utilisation des infrastructures de recherche seraient utile pour une meilleure gestion du cycle de vie de ces infrastructures. Par exemple, une analyse régulière des statistiques d'utilisation, d'exploitation et de qualité des résultats serait nécessaire durant la vie de ces infrastructures de recherche. L'organisation du plan de gestion de données dont le listing des experimentations et l'archivage des données correspondantes et de l'implémentation de la stratégie nationale de science ouverte accompagnerait la structuration des réseaux et les travaux scientifiques de ces communautés de recherche. Vu les domaines spécifiques de chacune de ces infrastructures, elles sont indispensables et uniques, chacune pour leurs communautés de recherche correspondantes. Les cinq prochaines années vont voir augmenter certains besoins sociétaux et mondiaux (afin d'atteindre les ODD), et les sciences du numérique seront au cœur de l'implémentation de ces objectifs. D'autres infrastructures de recherche pourraient émerger alors selon les besoins d'expérimentation des chercheurs et aussi les besoin des stratégies d'accélérations en cours comme pour les sciences de la cybersécurité, et la science de la donnée.



CONTINUUM

Continuité Collaborative du Numérique vers l'Humain

Le projet CONTINUUM crée une infrastructure de recherche collaborative de 30 plateformes situées dans toute la France, afin de faire progresser la recherche interdisciplinaire entre l'informatique et les sciences humaines et sociales. Grâce à CONTINUUM, 37 équipes de recherche développeront des recherches de pointe axées sur la visualisation, l'immersion, l'interaction et la collaboration, ainsi que sur la perception, la cognition et le comportement humains en réalité virtuelle/ augmentée.

CONTINUUM est un véritable macroscope numérique qui permet un changement de paradigme dans notre façon de percevoir, interagir et collaborer avec les données numériques complexes et les mondes numériques en plaçant l'expertise et l'intelligence humaine au cœur des processus de compréhension et d'interprétation des données. Le projet permettra aux scientifiques, ingénieurs et utilisateurs industriels de disposer d'un réseau de plates-formes de visualisation et d'immersion haute performance pour observer, manipuler, comprendre et partager des données numériques, des simulations multi-échelles et des expériences virtuelles ou augmentées. Toutes les plates-formes permettront la collaboration à distance et seront dotées d'équipements mobiles pouvant être prêtés aux utilisateurs pour faciliter l'accès à ces technologies.



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

La large couverture géographique de CONTINUUM permettra la diffusion du savoir-faire au monde économique et social, en collaboration avec les acteurs du transfert d'innovation (SATT, Pôles de compétitivité, Instituts Carnot…). Des modèles économiques spécifiques seront développés afin de permettre l'accès aux équipements et à une expertise de pointe par les universitaires, les collectivités et les utilisateurs privés.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 200 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données http://visionair.ge.imati.cnr.it/ontologies/shapes

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Gif-sur-Yvette

Localisation des autres sites (en France) : Aix-en-Provence, Belfort, Brest, Bruz, Chalon-sur-Saône, Compiègne, Grenoble, Guyancourt, Illkirch-Graffenstaden, Marseille 9e, Montbonnot-Saint-Martin, Palaiseau, Orsay, Plouzané, Re

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Michel Beaudouin-Lafon

Année de création : 2021

Année d'exploitation : 2021

Tutelles/Partenaires : Inria, CEA, Université de Rennes 1, Université Rennes 2, ENS de Rennes, INSA de Rennes, AMU, UTC, Université de Lille, ENIB, IMT Atlantique, UGA, Grenoble INP, ENSAM, Université de Strasbourg, UTBM, Université Paris-Saclay, Télécom Paris - Institut Polytechnique de Paris, ENS Paris-Saclay, CentraleSupélec, UVSQ

Contact en France : Michel Beaudouin-Lafon, michel.beaudouin-lafon@universite-paris-saclay.fr

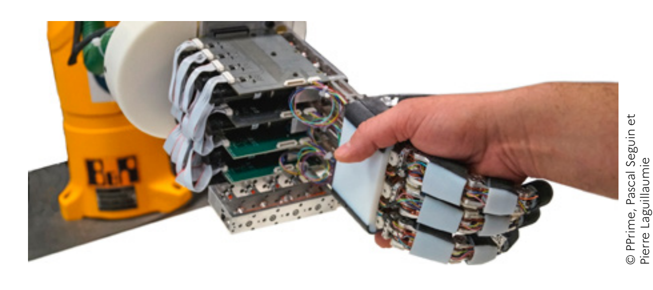
Site web : http://continuum.website

ROBOTEX 2.0

L'infrastructure coordonnée des plateformes de Robotique en France

L'infrastructure coordonnée Robotex 2.0 regroupe les plateformes d'envergure nationale et régionale de robotique en France. Cette infrastructure de recherche s'appuie sur plus de 1 000 chercheurs dans 32 laboratoires de recherche et 5 thématiques : Robotique humanoïde et interactions naturelles (RHIN), Robotique médicale (RobMed), Robotique mobile terrestre et aérienne (RobMob), Micro et nano robotique (MicroRob), Robotique dans l'Industrie du Futur (RobIF). Robotex 2.0 offre aux chercheurs en robotique un environnement de travail répondant aux critères internationaux de qualité les plus exigeants et un accès facilité aux plateformes matérielles et numériques de haut niveau. Il s'agit en collaboration avec le GDR Robotique du CNRS :

– de favoriser les synergies entre les équipes de recherche afin de lever les verrous scientifiques sur l'autonomie et la réactivité des robots, la sécurisation des robots, l'assistance à l'humain dans son environnement… ;



– de répondre aux grands défis sociétaux (Stimuler le renouveau industriel, Gestion sobre des ressources et adaptation au changement climatique, Énergie propre, sûre et efficace, Santé et bien-être…).

L'infrastructure permet, entre autres, de mutualiser les moyens techniques et humains avec une coordination nationale et accroit ainsi la visibilité de la recherche publique en robotique. Les formations, l'échange et le partage des connaissances s'appuient sur le réseau métier des roboticiens et des mécatroniciens (^{2}RM).

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les laboratoires de Robotex 2.0 ont développé des liens étroits avec les entreprises du domaine, les SATT, les pôles de compétitivité, les IRT et les instituts Carnot. Ils participent activement aux Labex. Depuis 2012 ses membres sont également à l'origine de 12 start-ups et 5 LabComs dans le domaine de la robotique et de 55 brevets avec le support des équipements des plateformes de Robotex 2.0.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com
- Production annuelle de données : 20 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Grenoble

Localisation des autres sites (en France) : Besançon, Cergy, Clermont Ferrand, Compiègne, Lille, Marseille, Montpellier, Nancy, Nantes, Nice, Paris, Paris-Saclay, Poitiers, Rennes, Strasbourg, Toulouse

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Nicolas Marchand, directeur
Jean-Pierre Gazeau, directeur adjoint
Jean-François Kong, coordinateur exécutif

Année de création : 2011

Année d'exploitation : 2012

Tutelles/Partenaires : Inria, CEA, INRAE, ECN, UFC, Sorbonne U, UGA, AMU, Université de Montpellier, Université de Poitiers, Université de Strasbourg, Université de Lille, Université de Lorraine, ENSAM, UCA, UTC, Université de Nantes, ENSMM Besançon, Clermont Auvergne INP

Contact en France : Nicolas Marchand, nicolas.marchand@gipsa-lab.fr
Jean-François Kong, jfkong@unistra.fr

Site web : http://equipex-robotex.fr



SILECS

Infrastructure for Large-Scale Experimental Computer Science

SILECS (Super Infrastructure for Large-Scale Experimental Computer Science) est une grande infrastructure pour la recherche expérimentale sur divers aspects du calcul distribué et des réseaux, des petits objets sans fil aux grands centres de données de demain. Cette infrastructure permet l'expérimentation de bout en bout de protocoles à tous les niveaux des couches logicielles, de la capture d'événements au traitement et stockage des données, en passant par la gestion radio et le déploiement dynamique de services de périphérie, ce qui permettra une recherche reproductible sur des réseaux programmables en tous points.



© Inria / C. Morel

SILECS rassemble tous les acteurs académiques français en réseau et systèmes distribués et représente le nœud français de la plate-forme ESFRI européenne SLICES.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

SILECS est soutenue et utilisée par de nombreux industriels, grands groupes, start up et PME, soit utilisateur soit fournisseur de technologies Cloud ou IoT. On peut citer notamment OVH, Orange, ATOS, etc.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/iot-lab/iot-lab.git
- Production annuelle de données : 20 To

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Le Chesnay-Rocquencourt

Localisation des autres sites (en France) : Biot, Illkirch-Graffenstaden, Lyon, Montbonnot-Saint-Martin, Nantes, Palaiseau, Paris, Rennes, Saint-Martin-d'Hères, Toulouse, Villeneuve-d'Ascq, Villers-lès-Nancy, Villeurbanne, Évry-Courcouronnes

Établissement(s) français porteur(s) : Inria

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Frédéric Desprez, Nathalie Mitton

Année de création : 2018

Année d'exploitation : 2019

Tutelles/Partenaires : CNRS, IMT, Université de Strasbourg, Sorbonne U, EURECOM, INSA de Lyon, ENS de Lyon, Université de Lille, Université de Lorraine, RENATER, UFTMP, UGA

Contact en France : Frédéric Desprez, frederic.desprez@inria.fr
Nathalie Mitton, nathalie.mitton@inria.fr

Site web : www.silecs.net

Dimension internationale

ESFRI SLICES

Directeurs : Serge Fdida, serge.fdida@sorbonne-universite.fr
Christian Perez, Christian.Perez@inria.fr

Pays partenaires : BE, CY, CH, DE, EL, ES, FI, FR, HU, IT, LU, NL, NO, PL, SE

Site internet : http://slices-ri.eu


L'ATALANTE



8.

Sciences du système **Terre** et de **l'environnement**

Sciences du système Terre et de l'environnement

Le défi majeur pour la recherche en sciences du Système Terre & de l'Environnement est l'étude des changements globaux, de leurs déterminants et de leurs impacts à toutes les échelles de temps (du court au très long terme) et d'espace (du local au global). Les études sont menées à la fois par grands compartiments du Système Terre et par grands enjeux, dont les interconnexions sont elles-mêmes un objet de recherche.

LES GRANDES QUESTIONS SCIENTIFIQUES ET GRANDS DÉFIS SOCIÉTAUX QUI NÉCESSITENT L'UTILISATION D'INFRASTRUCTURES DE RECHERCHE

Les enjeux environnementaux associés aux connaissances produites par les infrastructures de recherche sont essentiels avec, au cœur des sujets, la pression de l'Homme et des sociétés sur l'environnement : changement climatique, exploitation et épuisement des ressources naturelles, érosion de la biodiversité, dégradation de la qualité de l'air, diminution des ressources en eau et dégradation de leur qualité, risques (inondation par crue de rivière et submersion marine, canicules, sécheresses, feux, risques telluriques, industriels, sanitaires…), changements d'usage et dégradation des sols, etc.

Les infrastructures de recherche (IR[1]) du domaine *sciences du système Terre et de l'environnement* (SST & ENV) contribuent largement à apporter des connaissances fondamentales sur le fonctionnement des différents systèmes qui le composent et leurs interactions. Elles viennent en appui des recherches d'une communauté d'environ **20 000 chercheurs, enseignants-chercheurs et ingénieurs de recherche**.

Ces IR donnent accès aux milieux naturels et anthropisés, gèrent des collections d'échantillons et produisent de grandes quantités de données issues d'observations, d'expérimentations, d'analyses et de simulations. Elles fournissent des indicateurs de suivi, pertinents et validés, et permettent de tester des innovations et des modèles numériques prévisionnels. Une des spécificités des IR d'observation et d'expérimentation réside dans le fait qu'elles sont très largement distribuées sur le territoire national et au-delà (Europe en particulier).

Les données de recherche délivrées par ces infrastructures permettent ainsi de :

- comprendre, modéliser, scénariser et prédire l'évolution du climat, de la biodiversité et des ressources naturelles ;
- tracer les pollutions de l'air, de l'eau et des sols et la diversité de leurs impacts ;
- étudier, à différentes échelles, les changements globaux sous les deux facettes complémentaires de l'adaptation et de l'atténuation ;
- répondre aux enjeux scientifiques inter- et transdisciplinaires posés par la *science de la durabilité* ;
- éclairer à la prise de décision dans le cadre des politiques publiques ;

1 Sous le terme générique IR, par extension, sont considérés les OSI, IR*, IR, Réseaux, IR en projet de la feuille de route.

- contribuer à un développement durable de l'activité économique.

Un effort important a été consacré ces 10 dernières années, en France, au développement de systèmes d'information et d'accès aux données issues des infrastructures de recherche d'observation et d'expérimentation dans le domaine SST & ENV : l'un pour les données plutôt physiques du Système Terre (IR **DATA TERRA**) et l'autre pour la biodiversité (l'IR **PNDB**). Au-delà de la gestion des données, ces deux IR assurent le développement de services pour la recherche, l'appui aux politiques publiques et au secteur socio-économique, utiles notamment pour les transitions énergétique et écologique. Dans le domaine du climat, l'IR **CLIMERI-France** soutient l'acquisition et la distribution des données des simulations climatiques globales et régionales internationales.

POSITIONNEMENT DE CHAQUE INFRASTRUCTURE DANS LE PAYSAGE

La compréhension et la modélisation du système Terre et de l'environnement nécessitent (Figure 1) :

- des dispositifs transversaux logistiques lourds pour accéder à certains milieux naturels (FOF, ECORD-IODP, CONCORDIA et IN AIR ; en orange sur la Figure 1) et d'analyses (RéGEF, IR en projet) ;
- des systèmes d'observation ou d'expérimentation et des collections

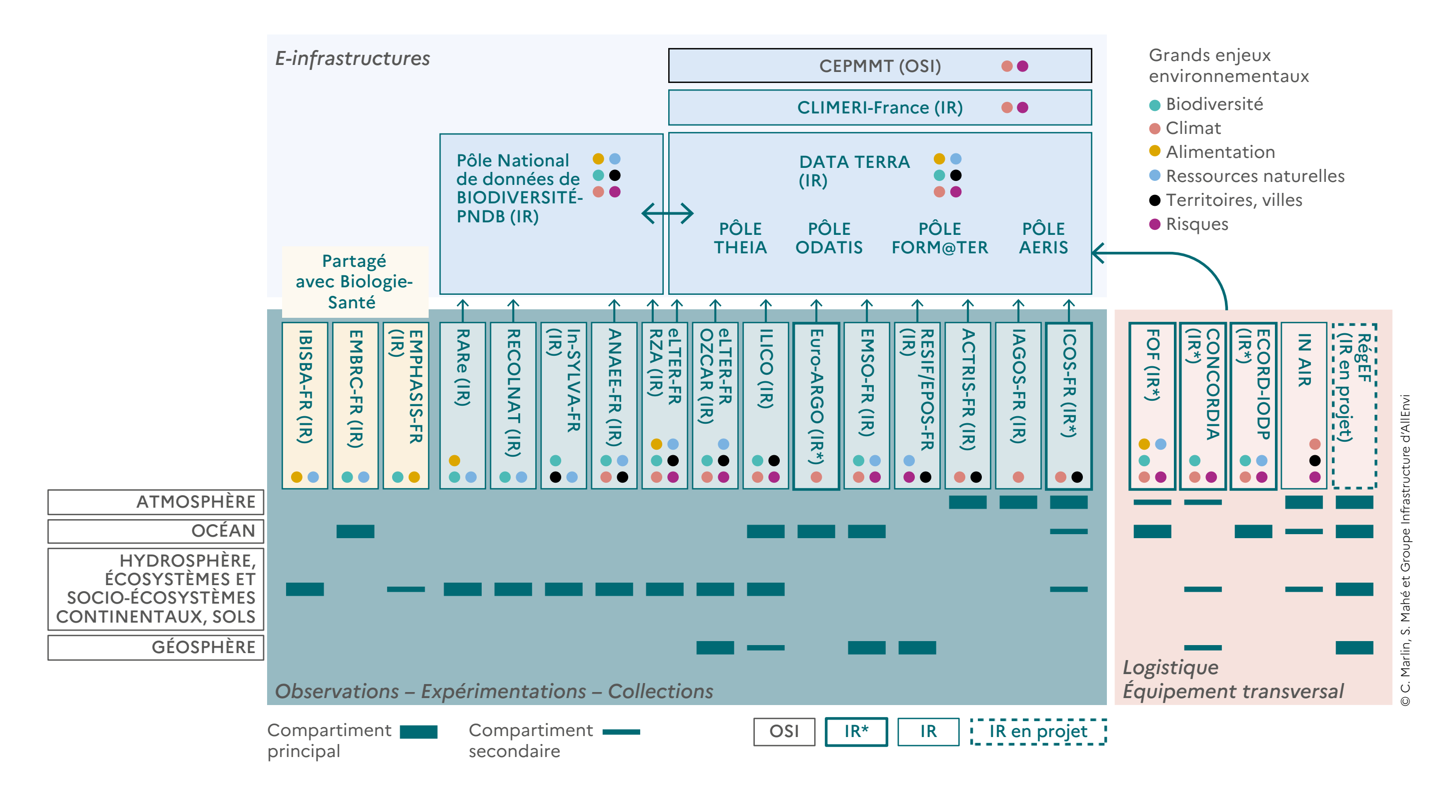


Figure 1 : OSI/IR*/IR du domaine SST & ENV par grands types (observations – expérimentaux – collections, logistiques et e-infrastructures), par grands compartiments du système Terre (atmosphère, océan, hydrosphère–écosystèmes – socio-écosystèmes continentaux – sols et géosphère) et par grands enjeux environnementaux (biodiversité, climat, alimentation, ressources naturelles, territoires-villes, risques). En jaune figurent trois infrastructures partagées avec le domaine Biologie – Santé.

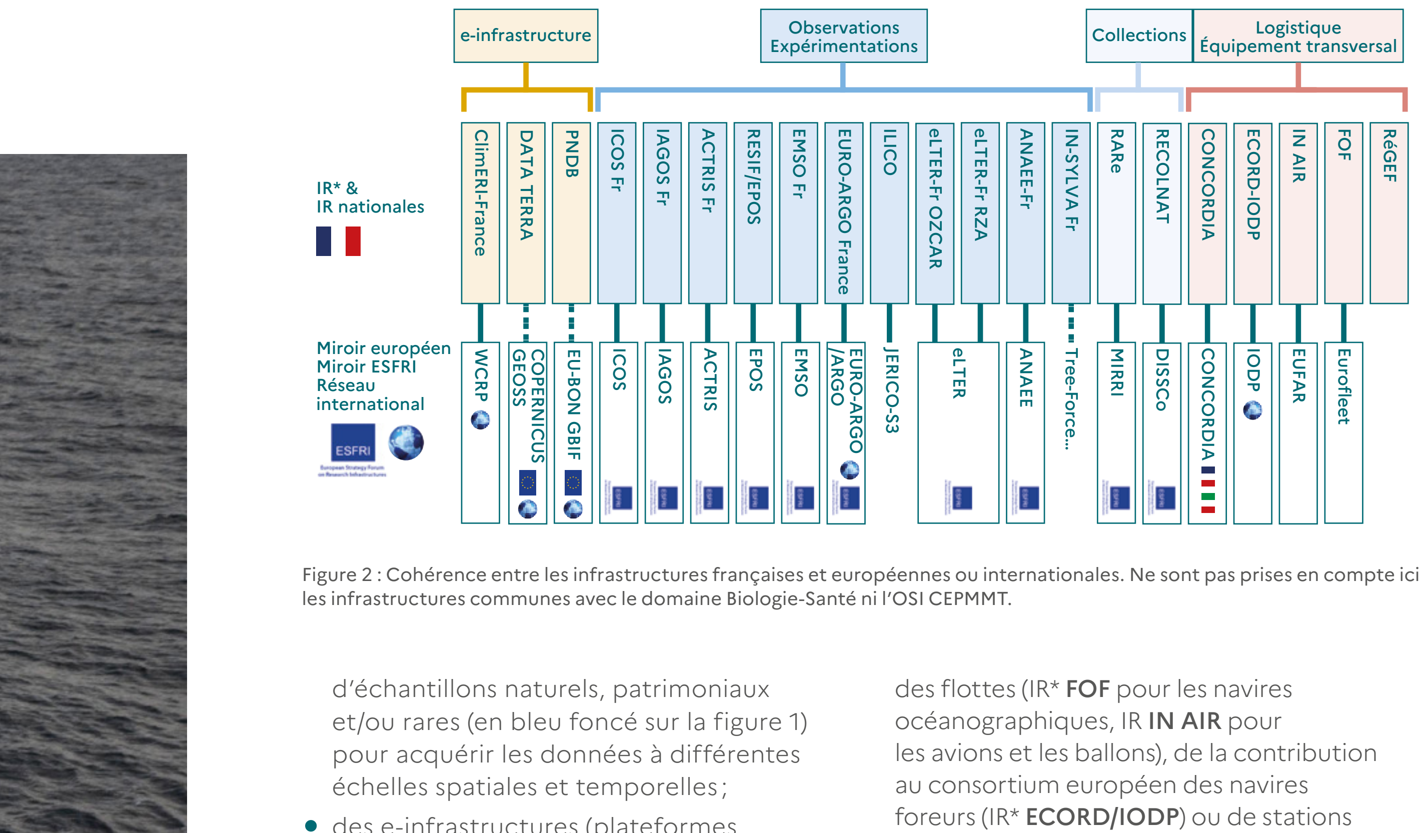


Figure 2 : Cohérence entre les infrastructures françaises et européennes ou internationales. Ne sont pas prises en compte ici les infrastructures communes avec le domaine Biologie-Santé ni l'OSI CEPMMT.

d'échantillons naturels, patrimoniaux et/ou rares (en bleu foncé sur la figure 1) pour acquérir les données à différentes échelles spatiales et temporelles ;

- des e-infrastructures (plateformes de modélisation, pôles de données, en bleu clair sur la figure 1).

Cette représentation synthétique des IR selon les grands compartiments du *système Terre* et par grands enjeux environnementaux montre leurs complémentarités mais leurs spécificités nécessitent une représentation détaillée par grand compartiment (cf. ci-après).

Les infrastructures françaises de ce domaine sont pensées pour une très grande majorité à **l'échelle européenne**[2] (Figure 2).

Infrastructures logistiques et équipements transversaux

Les infrastructures « logistiques » sont indispensables pour l'acquisition de données *in situ* ou la collecte d'échantillons dans des milieux difficiles d'accès. Il s'agit des flottes (IR* **FOF** pour les navires océanographiques, IR **IN AIR** pour les avions et les ballons), de la contribution au consortium européen des navires foreurs (IR* **ECORD/IODP**) ou de stations polaires comme l'IR* **CONCORDIA** en Antarctique, partie française d'une station polaire franco-italienne. S'ajoute l'IR en projet RéGEF une infrastructure distribuée rassemblant les instruments de mesure, d'imagerie et d'expérimentation en géochimie, pétrologie et minéralogie.

Infrastructures d'observation et d'expérimentation

Les infrastructures d'observation et d'expérimentation peuvent être présentées selon les quatre grands compartiments du système Terre, tels qu'adoptés par la feuille de route européenne ESFRI :

- Atmosphère ;
- Océan & littoral ;
- Hydrosphère, écosystèmes et socio-écosystèmes continentaux et sols ;
- Géosphère.

2 À noter que les IR* de logistique (FOF, CONCORDIA, ECORD-IODP), l'IR IN-SYLVA-France, l'IR en projet RéGEF de même que les pôles de données DATA TERRA et PNDB ne sont pas des miroirs d'infrastructures européennes même si ces derniers contribuent à l'initiative *European Open Science Cloud* (EOSC).

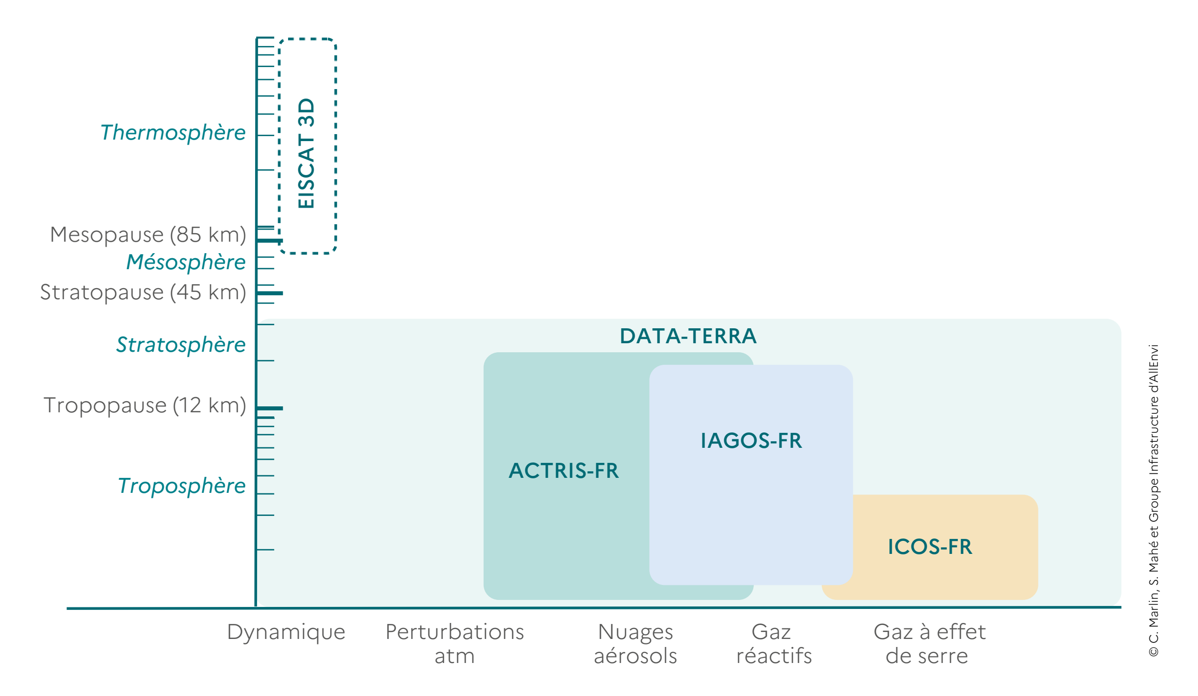


Figure 3 : Infrastructures de recherche françaises et européennes dans le domaine « Atmosphère ». L'infrastructure EISCAT-3D est une infrastructure ESFRI sans participation française. Les infrastructures de logistique pour l'accès au milieu atmosphérique ne figurent pas sur cette figure.

Atmosphère

Les infrastructures de recherche, toutes miroirs français d'infrastructures ESFRI, viennent en support aux activités scientifiques sur le climat, la composition atmosphérique et le cycle du carbone, trois enjeux majeurs des SST & ENV (Figure 3). Elles sont portées par des communautés structurées historiquement autour de l'étude des gaz à effet de serre, via l'IR* **ICOS-France**, de la composition de l'atmosphère au niveau de la troposphère/stratosphère via l'IR **IAGOS-France** et de l'étude des aérosols et des gaz réactifs impliqués dans la chimie atmosphérique et la pollution de l'air via l'IR **ACTRIS-France**. Le pôle **AERIS** de l'IR **DATA TERRA** rassemble tous les centres et bases de données préexistants d'ACTRIS-France, de IAGOS-France et d'ICOS-France. En plus de ces infrastructures d'acquisition de données *in situ*, la France dispose d'une infrastructure de modélisation du climat (IR **CLIMERI-France**) qui développe des modèles français de climat et réalise des simulations numériques internationales de référence du programme mondial de recherches sur le climat aux échelles globales et régionales (WCRP).

Océan et littoral

Les sciences marines se déclinent sur une large gamme d'échelles, spatiales et temporelles, allant de l'océan global à l'échelle microscopique, du siècle à la seconde, depuis la surface des océans au plancher océanique et depuis le large jusqu'aux environnements littoraux et côtiers (Figure 4). Les IR du domaine *océanique* (IR* **EURO-ARGO**, IR **EMSO-France**, IR **ILICO**) reflètent cette diversité et cette interdisciplinarité.

Ce domaine est étroitement lié et dépendant de grands moyens logistiques (IR* **FOF**, IR* **ECORD-IODP**).

D'autres infrastructures comme l'IR* **ICOS-France** et les IR **EMBRC-France** ou l'IR **CLIMERI-France** ont aussi un volet marin important.

Hydrosphère, écosystèmes et socio-écosystèmes continentaux, sols

Les IR du domaine « Hydrosphère, écosystèmes et socio-écosystèmes continentaux et sols » associent des sites instrumentés (IR **eLTER-France OZCAR** pour les cycles hydrologiques et biogéochimiques de la zone critique, IR **eLTER-France RZA** pour la recherche sur les socio-écosystèmes, IR **ILICO** pour l'interface Terre-mer et IR* ICOS-France pour l'étude des émissions des gaz à effet de serre) et des sites et plateformes d'expérimentation (IR **In-Sylva-France** pour la forêt, IR **AnaEE-France** pour l'étude des écosystèmes *in situ*

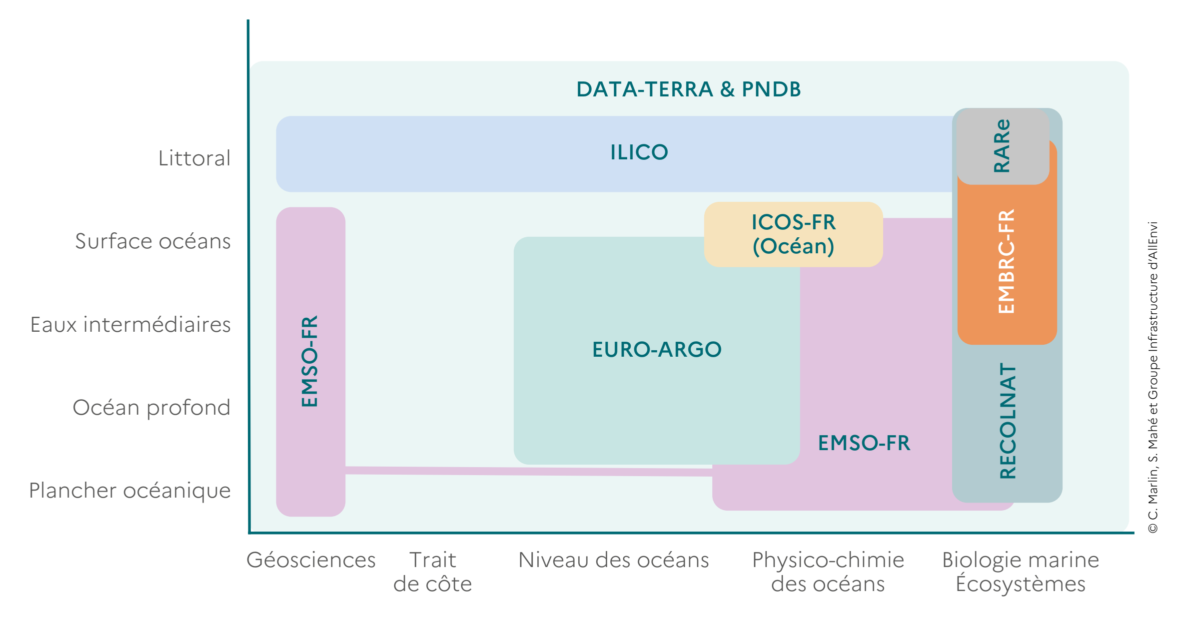


Figure 4 : infrastructures de recherche françaises dans le domaine « Océan et littoral ».
L'encadré orange (EMBRC-FR) indique une infrastructure commune avec le domaine Biologie-Santé.
Les infrastructures de logistique pour l'accès au milieu océanique ne figurent pas sur cette figure.

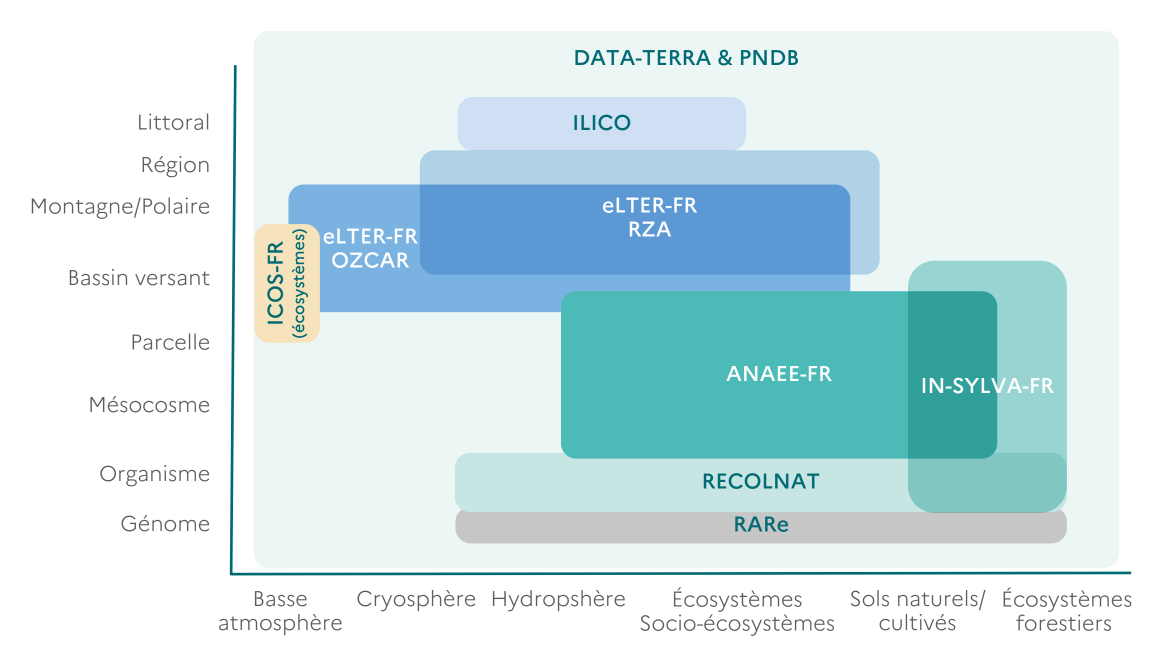


Figure 5 : Infrastructures de recherche françaises dans le domaine « Hydrosphère, écosystèmes et socio-écosystèmes continentaux et sols ». Les infrastructures de logistique ne figurent pas sur cette figure.

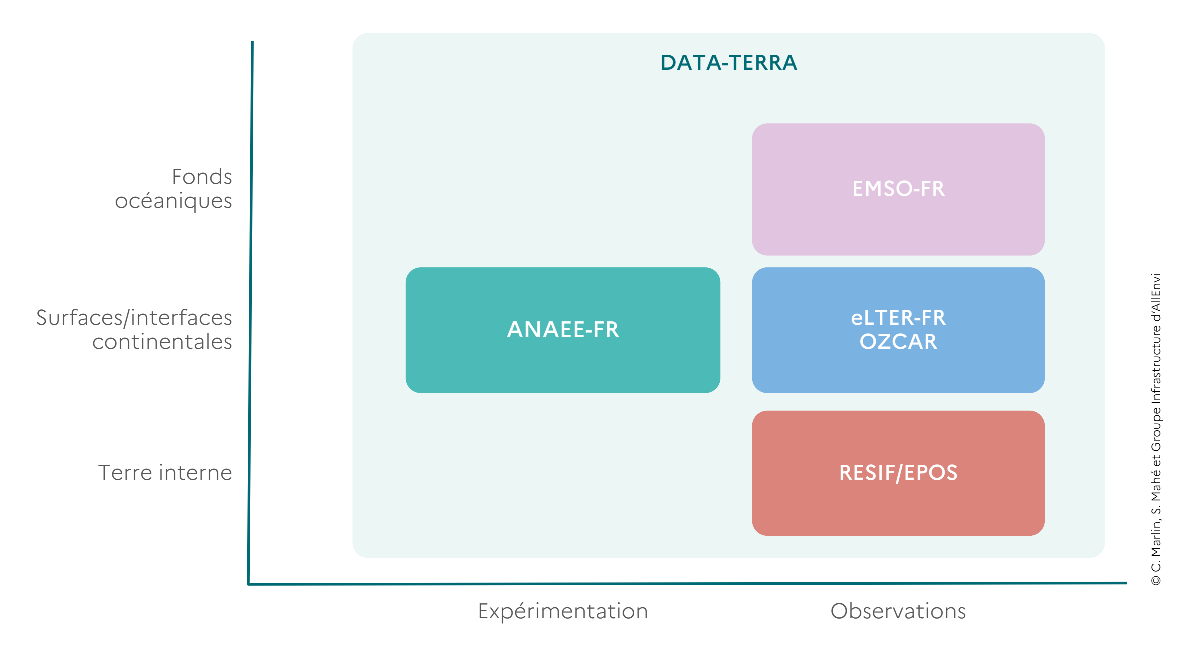


Figure 6 : Infrastructures de recherche françaises dans le domaine « géosphère ».
Les infrastructures de logistique ne figurent pas sur cette figure.

et l'étude des écosystèmes en conditions hautement contrôlées). Elles couvrent les principaux écosystèmes ou socio-écosystèmes continentaux sous différents climats, à différentes échelles spatiales et temporelles (Figure 5).

Géosphère

Dans le domaine de la Terre solide, la France est très active avec deux infrastructures, l'IR **RESIF/EPOS** qui réunit l'ensemble des moyens géophysiques nationaux dédiés au suivi des aléas et des ressources de la Terre interne et l'IR **EMSO-France** dédiée à l'observation du plancher océanique « solide ». Outre les enjeux de connaissances sur la structure et la dynamique interne de la Terre, les enjeux sociétaux sous-jacents au domaine de la géosphère sont nombreux (risques naturels, énergies, matières premières, stockage, etc.). Par ailleurs, les IR **AnaEE-France** et **eLTER-France OZCAR** apportent respectivement des expérimentations ou des observations sur les sols et le proche-sous-sol, notamment pour les aquifères (Figure 6).

Collections d'échantillons naturels

Les infrastructures d'archivage d'échantillons sont :

- l'IR **RARe** qui rassemble les centres de ressources biologiques animales, végétales et microbiennes dédiés, entre autres, à l'agronomie ;
- l'IR **RECOLNAT** qui regroupe les collections naturalistes. Dans le cadre du développement de RECOLNAT, d'autres disciplines devraient enrichir l'offre d'images, particulièrement en zoologie et géosciences.

e-infrastructures

Deux pôles nationaux de données rassemblent les données du domaine :

- le **Pôle de données et services du système Terre DATA TERRA** est une infrastructure qui se structure pour offrir un portail unique vers les quatre pôles (AERIS pour l'atmosphère, ODATIS pour l'océan, FORM@TER pour la Terre solide et THEIA pour les surfaces et interfaces



continentales) ainsi que des services et outils. Il permettra de contribuer aux grands programmes européens comme COPERNICUS et internationaux comme GEOSS ;

- l'IR **PNDB (Pôle national de données de biodiversité)** a pour objet l'accès aux données d'observation, de collection et d'expérimentation, en lien avec le réseau européen EU-BON (*Biodiversity Observatory Network)* et l'OSI GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*).

En matière de modélisation, l'IR **CLIMERI-France** a pour mission la réalisation des simulations climatiques de référence. Au niveau national, elle vise à coordonner les modèles de Météo-France et de l'Institut Pierre Simon Laplace (IPSL), à faciliter l'exploitation des résultats des simulations, en particulier ceux du climat futur. Les données produites dans CLIMERI-France s'insèrent dans la base de données internationale *Earth System Grid Federation* des simulations de référence du WCRP.

Interfaces avec les autres domaines de la Feuille de route nationale

Les questions de recherche dans les sciences du système Terre et de l'environnement sont, pour la plupart d'entre elles inter- ou transdisciplinaires. Ainsi plusieurs infrastructures sont inscrites à l'interface entre deux domaines de la feuille route nationale.

Infrastructures à l'interface avec le domaine Biologie-Santé

Pour la recherche aux interfaces entre les milieux physiques et le vivant, certaines infrastructures sont partagées avec le domaine Biologie/Santé.

- Dédiée au phénotypage des plantes et espèces modèles, l'IR **EMPHASIS-France** complète, pour les agronomes et les écologues, des plateformes « omiques » portées par l'alliance Aviesan, comme l'IR Metabohub et l'IR France Génomique.
- Trois autres IR sont d'un grand intérêt pour les sciences de l'environnement :
  - **IBISBA-France** qui se positionne entre les domaines environnement/énergie/biologie-santé. Son centre de gravité est la biologie de synthèse et les biotechnologies mais avec des applications dans différents domaines comme la valorisation des déchets ;
  - **EMBRC-France** pour les ressources biologiques marines ;
  - **CALIS** pour la production d'aliment, l'agriculture étant une source importante de production de gaz à effet de serre et utilisatrice de ressources naturelles (sols, eaux, intrants…).

Par ailleurs, notons que l'IR **RARe** s'intéresse également aux ressources génétiques d'intérêt en biologie-santé : ressources canines, consortia des microbiotes humains…

Infrastructures à l'interface avec le domaine SHS

L'IR **E-RIHS**, infrastructure d'analyse et d'imagerie, étudie les matériaux du patrimoine, en lien avec RECOLNAT où figurent les collections naturalistes des muséums et des universités.

Infrastructures à l'interface avec le domaine Énergie

L'IR **ECCSEL-Fr** (*European Carbon Dioxide Capture and StoragE Laboratory*) travaille sur une technologie d'atténuation du changement climatique à travers le captage, le transport et le stockage de CO_2, ce qui concerne évidemment le domaine SST & ENV.

Interface avec le domaine Numérique

La réflexion sur le numérique concerne l'ensemble des infrastructures du domaine SST & ENV du fait de l'importante quantité de données produites et des besoins de calcul et de simulation. À long terme, l'ambition de la France de contribuer à l'élaboration d'un jumeau numérique de la Terre (eEarth) ne pourra se faire sans l'accompagnement d'une politique globale

sur le numérique au service de l'ensemble des infrastructures du domaine SST & ENV.

Formation-Innovation

De nombreux liens existent entre les infrastructures de recherche du domaine SST & ENV et l'enseignement supérieur dans les universités et les écoles (accueil de stagiaires, thésards, post-doctorants). Ces liens seraient à intensifier voire à développer avec l'accueil dans les infrastructures d'étudiants d'IUT ou des filières par apprentissage par exemple pour des stages de longue durée ou des écoles d'été. Une forme de compagnonnage (système de formation de jeunes en inter-infrastructures) pourrait se développer.
Dans les universités, un lien formation/infrastructure/innovation peut être aussi assuré par les *Fabrication Laboratories* – FabLab (prototypage d'instruments ou de capteurs). Ces FabLab pourraient être des tremplins pour des développements technologiques innovants pour l'environnement. Le recours croissant au numérique et au « *big data* » dans les infrastructures du domaine SST & ENV implique de nouveaux métiers, par exemple besoin en « *data scientists* ». Ce nouveau champ d'activité pose la question à la fois de la place du numérique dans les infrastructures, celle du profil de recrutement associé et la mutualisation de ce type d'activité, voire la création de sociétés dédiées.

Retombées socio-économiques

Les infrastructures de domaine SST & ENV jouent un rôle déterminant dans la recherche scientifique avec des enjeux majeurs pour la société (changement climatique, état de la biodiversité, pollution des milieux, risques naturels, exploitation et épuisement des ressources naturelles, etc.), pour la durabilité de l'environnement et le monde socio-économique. L'ensemble des catastrophes naturelles, industrielles et sanitaires de ces dernières années (inondations, sécheresses, cyclones, incendies, canicules, pollution de l'air, pandémie COVID-19, etc.) sont autant d'exemples ayant des impacts négatifs forts à la fois sur l'économie, la société et l'environnement. La prévention des risques ainsi que les recherches menées par les communautés utilisatrices des IR ont un impact positif en matière d'agriculture et de sylviculture durables, de bioéconomie, d'économie bleue et d'émergence de services écosystémiques innovants.
Les infrastructures du domaine SST & ENV produisent un très grand nombre de données essentielles pour la connaissance qui éclairent également les politiques publiques et aident les pouvoirs publics à la décision.

Par ailleurs, la capacité des communautés scientifiques à documenter l'environnement à toutes les échelles de temps et d'espace ne peut se développer sans l'apport de technologies ou de méthodologies innovantes qui concernent à la fois les instruments de mesure, les capteurs déployés *in situ* et tous les outils du numérique indispensables pour organiser, traiter et modéliser les milliards de données produites.

DONNÉES ET SCIENCES OUVERTES

Parmi les 22 infrastructures du domaine Sciences du système Terre et environnement, 5 produisent un volume de données de l'ordre du Po, 10 de l'ordre du To et 7 de l'ordre du Go, le tout estimé à environ 9 % du volume total des données produites par l'ensemble des infrastructures de la feuille de route nationale. Les données d'observation et d'expérimentation du domaine sont, pour une part, stockées et partagées à travers Data Terra, le pôle de données et de services du Système Terre, organisé en quatre piliers (ODATIS pour l'océan, THEIA pour les surfaces continentales, AERIS pour l'atmosphère et FORM@TER pour la Terre solide) auxquels s'ajoute DINAMIS pour les données d'imagerie spatiale. Data Terra rassemble et gère ainsi 40 % du volume de données produites par les infrastructures



du domaine, hors l'organisation internationale CEPMMT. À cela s'ajoutent le PNDB, le pôle de données sur la biodiversité et CLIMERI-France pour les simulations numériques de référence pour le climat. Toutefois, 86% des infrastructures du domaine étant des composantes d'infrastructures européennes ou internationales, la gestion et l'ouverture de certaines données acquises nationalement, principalement par des dispositifs distribués, peuvent être articulées dans un cadre supranational (13 entrepôts internationaux). La grande majorité des infrastructures de recherche du domaine ont un plan de gestion de la donnée soit établi (13/22) soit à venir (8/22). Quatre ont une gestion des données qui s'opère uniquement à une échelle internationale ou européenne (par exemple CEPMMT, Ecord-IODP, Euro-Argo, ICOS). L'ensemble des infrastructures du domaine assurent l'accès, à travers une approche FAIR (16 en application, 7 en préparation/réflexion) des données environnementales au sens large à une communauté d'environ 20 000 chercheurs, enseignants-chercheurs et ingénieurs.

Plus de 90% des infrastructures des Sciences du Système Terre et environnement s'inscrivent dans une démarche de science ouverte. Cette politique de partage des données est bien inscrite dans les communautés en raison des directives européennes s'appliquant depuis de longue date dans le domaine. Dans le détail, si les volets « Stratégie de science ouverte formalisée », « politique relative aux publications », « politique aux données », « métiers de la gouvernance des données » peuvent être qualifiés d'émergents à généralisés, les politiques d'ouverture des codes et logiciels sont, eux, systématiques. Une coordination des infrastructures de recherche environnementales, à travers ENVRI-Fair (*Environmental Research Infrastructures building FAIR services for research, innovation and society*), fédère la communauté en vue de la mise en visibilité des services dans le portail de l'EOSC (*European Open Science Cloud*). L'ensemble des infrastructures incitent aux dépôts des publications en archive ouverte et au référencement de l'infrastructure ayant produit les données. Les communautés du domaine sont également très avancées en termes de gouvernance et des métiers autour la donnée.

STRATÉGIE : MANQUES POTENTIELS À COMBLER ET ORIENTATIONS POUR LES 5 PROCHAINES ANNÉES

L'élaboration de la nouvelle feuille de route repose sur 3 piliers devant mener à la modélisation globale du système Terre, nécessaires pour réussir les grandes transitions et atteindre les objectifs du développement durable :

1. prise en compte de l'évolution des fronts de science pour répondre aux grandes questions posées aux sciences environnementales ;
2. consolidation des dispositifs nationaux avec le comblement des manques, la mise en place de coordinations par domaine ou milieu, un partage des procédures (traitements de données, protocoles…) et une philosophie commune concernant l'accès aux infrastructures (ouverture, mise à disposition…) ;
3. stratégie d'interaction avec le niveau européen ou international avec soit une consolidation du leadership de la France dans certains domaines ou le développement d'alliances stratégiques.

Infrastructures logistiques et équipements transversaux

Le nombre et la diversité des infrastructures logistiques et transversales pourraient augmenter sur la décennie à venir avec une inscription sur la feuille de route nationale des dispositifs qui existent déjà dans les organismes, ou en inter-organismes, et qui nécessitent une visibilité nationale. Leur inscription sur la feuille de route

devra cependant prendre en compte les possibles complémentarités ou les recouvrements avec les IR existantes.

À moyen terme[3], l'IR en projet RéGEF (Réseau Géochimique et Expérimental Français) qui constitue un dispositif national d'accès aux instruments nationaux et aux réseaux analytiques thématiques pour les analyses minéralogiques et géochimiques devra faire en sorte d'intégrer pleinement la feuille de route nationale en tant qu'IR.

À long terme, les moyens de **carottages** lacustres, continentaux et glaciaires devront faire l'objet d'une attention particulière.

Infrastructures d'observation et d'expérimentation

Atmosphère

À moyen terme, une infrastructure **« atmosphère »** de type IR* devrait se structurer. Le projet commun OBS4CLIM dans le cadre de l'AAP Equipex+ (PIA 3) fédérant **ICOS-France, IAGOS-France et ACTRIS-France** démontre la capacité de ces communautés à travailler en synergie et complémentarité. Toutefois, afin que les IR concernées ne perdent pas leur visibilité européenne telle qu'elle existe actuellement, une organisation de coordination, sans fusion des IR concernées, est à mettre en place comme première étape.

Océan et littoral

Une infrastructure dédiée à la haute mer est à construire de façon à ce qu'**à moyen terme**, le domaine océanique soit entièrement couvert par les infrastructures d'observation (IR* **EURO-ARGO**, les IR **EMSO-France** et **ILICO** et le hauturier). Au niveau national, l'objectif devrait être la mise en place soit d'une forte coordination entre ces IR soit d'une unique IR **FrOOS** (*French Ocean observing system*), en articulation avec les pôles de données DATA TERRA et PNDB.

Hydrosphère, écosystèmes et socio-écosystèmes continentaux, sols

À moyen terme, les **IR eLTER-France OZCAR** et **eLTER-France RZA** doivent ne former qu'une seule infrastructure (eLTER-France) dédiée à l'observation et l'expérimentation sur les hydrosystèmes, écosystèmes naturels et sur les socio-écosystèmes et pendant de eLTER-Europe. L'équipex+ Terra Forma (PIA 3) est un soutien supplémentaire pour y parvenir.

Le manque d'une infrastructure dédiée à **l'observation et la modélisation environnementale de la ville, plus généralement des milieux fortement anthropisés**, est identifié bien qu'aucune infrastructure miroir européenne n'existe à l'heure actuelle. L'observation de ces milieux est actuellement distribuée dans plusieurs IR mais des initiatives récentes pourraient conduire à une structuration nationale de ce domaine.

Collections d'échantillons naturels

À moyen/long terme, certaines **collections**, non référencées dans les structures nationales et pourtant organisées selon des standards reconnus, présentent les caractéristiques d'infrastructures de recherche. Ainsi, des **carothèques (sédiments, roches, glaces), lithothèques et pédothèques** sont gérées au niveau local et une structuration nationale pourrait être étudiée.

E-infrastructures

Une seule infrastructure de données et de services du système Terre (composantes biologiques et physiques) issue de l'intégration des IR DATA-TERRA et PNDB associées dans le projet **GAIA DATA** (PIA 3/Equipex+) est attendue **à court/moyen terme**.

3 Moyen/long terme : à échéance de la prochaine feuille de route nationale/à horizon 10 ans.



CEPMMT

Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme

Le Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme est une organisation intergouvernementale indépendante créée en 1975 et actuellement financée par 34 États Membres. C'est à la fois un institut de recherche et un service opérationnel qui développe son modèle et son système global de Prévision Numérique du Temps, et l'opère 24h/24 7 j/7 pour élaborer et diffuser ses produits. Son centre de calcul et de données (ainsi que l'ensemble de l'archive correspondante) est accessible à tous ses États membres pour leurs activités de recherche. De ce fait, le CEPMMT est aussi un outil important pour la recherche sur le climat, et réalise notamment des ré-analyses du climat récent, basées sur son système de Prévision Numérique du Temps et l'ensemble des observations passées disponibles.



© Anonyme

Par ailleurs, le CEPMMT coordonne et met en œuvre les services atmosphère (chimie de l'atmosphère, qualité de l'air, émissions de gaz à effet de serre) et changement climatique du programme Copernicus de l'Union Européenne.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 85 Po

Catégorie : OSI
Type d'infrastructure : distribuée
Établissement(s) français porteur(s) : Météo-France

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : H. Roquet
Site web : www.ecmwf.int

Dimension internationale

Pays partenaires : AU, BE, HR, DK, EE, FI, FR, DE, GR, IS, IE, IT, LU, NL, NO, PT, RS, SI, ES, SE, CH, TR
Site internet : www.ecmwf.int



CONCORDIA

CONCORDIA – station de recherche antarctique franco-italienne

CONCORDIA est la seule station de recherche polaire permanente européenne à l'intérieur du continent antarctique. Elle est implantée sur l'un des points culminants de la calotte de glace antarctique (3 233 m d'altitude) : au Dôme C, sur le plateau continental Antarctique (75°06'S - 123°21'E) à 1 100 km de la station côtière française Dumont d'Urville (DDU) et 1 200 km de la station italienne Mario Zucchelli (MZS).

Le système CONCORDIA comprend la station, le dispositif terrestre d'approvisionnement depuis DDU, et la station annexe Robert Guillard située à proximité de DDU (point de départ des convois logistiques terrestres). S'ajoute les liaisons aériennes inter- et intracontinentales via la station MZ, ainsi que le navire L'Astrolabe, armé par la marine nationale et sous autorité d'emploi de l'IPEV durant la campagne de soutien logistique en Antarctique, qui amène le ravitaillement nécessaire depuis la Tasmanie. CONCORDIA, IR* de services des sciences du système Terre et de l'Univers, occupe une fonction logistique et d'observation (elle abrite de nombreux observatoires scientifiques).



© Institut polaire français/Antarctique / Concordia/Lucie Bonhomme/2018

La construction et l'exploitation de CONCORDIA font l'objet d'accords (signés en 2005, entrés en vigueur en 2007, renouvelés en 2017) de coopération scientifique en Antarctique entre les ministères de la recherche en France et en Italie, et entre les opérateurs IPEV et Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA).

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

La gestion de l'IR* conduit l'Institut polaire à développer un savoir-faire unique en collaboration avec des acteurs industriels pour relever les défis imposés par l'isolement et les conditions climatiques extrêmes, notamment dans la conception/isolation des bâtiments, le transport de charges lourdes sur glace ou le traitement des eaux usées. Une partie de nos activités repose sur le tissu économique tasmanien, point de départ de nos missions.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 60 Go

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Plouzané
Établissement(s) français porteur(s) : IPEV

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : J. Chappellaz
Année de création : 2005
Année d'exploitation : 2005
Tutelles/Partenaires : CNRS, CEA, CNES, MF, Ifremer, TAAF
Site web : www.institut-polaire.fr/ipev/infrastructures/les-bases/concordia

Dimension internationale

Pays partenaires : FR, IT
Site internet : www.institut-polaire.fr/ipev-en/support-for-science/antarctica/concordia



ECORD/IODP

Programme international de forage profond en mer/European Consortium for Ocean Drilling Research/International Ocean Discovery Program

ECORD est un consortium européen (14 pays européens et le Canada) dont l'objectif principal concerne l'exploration scientifique du plancher océanique au sein duquel sont enregistrés les événements climatiques, sédimentaires et tectoniques ayant affecté la planète au cours de son histoire. Il participe au programme IODP (International Ocean Discovery Program ; 23 pays) qui permet aux scientifiques d'étudier des thématiques aussi variées que les risques sismiques, les changements climatiques, la géophysique et la géodynamique du globe, la biosphère profonde, l'acidification des océans, les ressources naturelles, les échanges chimiques entre la croûte océanique et l'océan, les processus biogéochimiques et physiques liés aux circulations de fluides sous le plancher océanique, etc.).

IODP met en œuvre différentes plates-formes :

– le navire de forage conventionnel JOIDES Resolution mis en œuvre par les États-Unis ;
– le navire « Riser » Chikyu de l'opérateur japonais JAMSTEC-MarE3 qui permet de forer très



© ECORD

profondément et dans des formations géologiques instables ;
– des plate-formes spécifiques (Mission-Specific Platforms - MSP), mises en œuvre par ECORD et concernant différents moyens de forages adaptés aux besoins scientifiques.

ECORD est une infrastructure unique en Europe et offre une palette d'activités, incluant science, technologie, éducation, conservation et mise à disposition des données. ECORD comble ainsi une lacune dans le paysage scientifique européen.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les forages scientifiques fournissent des données essentielles à différents secteurs industriels (industrie pétrolière, biotechnologies, ressources minérales, ressources en eau, etc.). ECORD et IODP innovent en termes de développement technologique concernant le matériel et les techniques de forages en collaboration avec le secteur industriel (grands entreprises et PME) et dans le cadre de pôles de compétitivité.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 10 Po
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.marum.de/en/Research/IODP-Bremen-Core-Repository.html

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Aix-en-Provence
Localisation des autres sites (en France) : Montpellier, Toulouse
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : G. Camoin
Année de création : 2003
Année d'exploitation : 2003
Tutelles/Partenaires : CNRS
Site web : www.iodp-france.org

Dimension internationale

ECORD / IODP

Pays partenaires : DE,UK, FR, AU, CA, DK, ES FI, IE IT, NL
Site internet : www.iodp-france.org



EURO-ARGO-France

Réseau in-situ global d'observation des océans/European contribution to Argo program

Argo France réunit l'ensemble des contributions françaises au programme international Argo, c'est à dire les activités de coordination scientifique et technique, achat et déploiement de flotteurs, traitement des données et interfaces avec la communauté utilisatrice (océanographie opérationnelle avec Mercator Océan et recherche). Outre le traitement de ses propres flotteurs, la France assure des fonctions importantes de traitement de données pour ses partenaires européens et internationaux (centre de données Coriolis). Argo-France est coordonnée au sein de la structure inter-organismes Coriolis (Ifremer, CEREMA, CNES, CNRS/INSU, IPEV, IRD, Météo France, SHOM) et est labellisé depuis 2011 par l'INSU comme Service National d'Observation (SNO) pour la Recherche (OSU IUEM).

L'IR* Euro-Argo regroupe la composante nationale Argo France et la contribution française à la coordination de l'ERIC Euro-Argo. L'ERIC (European Research Infrastructure Consortium) Euro-Argo est la contribution européenne au réseau international Argo.


© Jean-Jacques Pangrazi

L'ambition de la France est de contribuer à environ 10 % du programme Argo (soit 30 % des efforts européens) en déployant 80 flotteurs/an répartis de la manière suivante : 30 flotteurs standards (T,S-2 000 m), 15 flotteurs profonds (T,S,oxygène, 0-4 000 m), 35 flotteurs biogéochimiques (BGC, 0-2 000 m) dont 20 avec un capteur d'oxygène seul.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

En amont, l'IR* Euro-Argo a un partenariat industriel avec le fabricant français de profileur qui est actuellement un des deux principaux fournisseurs d'instruments. En aval, Argo est un réseau essentiel aux services opérationnels opéré par Mercator-Ocean, le SHOM, Météo-France et, en Europe, le Service Marin de Copernicus et à ce titre à de nombreux utilisateurs. Enfin 10 % des publications Argo sont faites par des équipes françaises.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/euroargodev
- Production annuelle de données : 37 Go
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.ncei.noaa.gov/products/global-argo-data-repository

Catégorie : IR*

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Plouzané

Établissement(s) français porteur(s) : Ifremer

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : S. Pouliquen

Année de création : 2014

Année d'exploitation : 2014

Tutelles/Partenaires : SHOM, CNRS

Site web : www.argo-france.fr

Dimension internationale

ESFRI landmark

Responsable : S. Pouliquen

Pays partenaires : DE, ES, FR, FI, GR, IE, IT, NO, NL, UK, BG

Site internet : www.euro-argo.eu



FOF

Flotte Océanographique Française

L'IR* flotte océanographique française (FOF) compte quatre navires hauturiers, deux navires semi-hauturiers déployés outremer, cinq navires côtiers et sept navires de station. Les navires de la FOF sont à même de réaliser des études depuis l'exploration générale sur de grandes zones jusqu'à des travaux de chantier sur des sites précis (déploiement d'engins sous-marins comme le robot télé-opéré (ROV) Victor6000 ou des drones sous-marins) et à la mise en place d'observatoires de fond de mer.

Dans un paysage européen de la recherche en sciences marines souvent très morcelé, la Flotte océanographique française est une infrastructure intégrée unique, en ce qu'elle allie au sein d'une même entité (l'Ifremer) des missions et compétences de gestion d'infrastructures, de réalisation d'opérations, et de développement technologique adossés à une R&D contributive importante.

La FOF est l'une des plus importantes flottes océanographiques au monde, aux côtés de celles



© Akeryards

des USA, du Japon, de la Grande-Bretagne et de l'Allemagne. En Europe c'est la seule, avec la flotte océanographique allemande, à avoir un rayonnement mondial et elle vient en soutien à la recherche conduite dans les outremers français. Enfin, la flotte est multifonctionnelle puisqu'elle concilie une activité orientée vers la recherche, mais également la formation, et des missions d'expertise en appui aux politiques publiques et d'hydrographie.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Dans le domaine des ressources minérales, la FOF a longtemps été le vecteur de coopérations scientifiques avec des industriels du domaine. Elle permet également à l'Ifremer d'honorer les engagements de la France dans le cadre des deux contrats d'exploration des ressources minérales profondes signés avec l'AIFM, et de fournir les données indispensables pour soutenir les revendications de l'État français visant à étendre le plateau continental.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle
- Production annuelle de données : 1 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données http://donnees-campagnes.flotteoceanographique.fr

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Plouzané
Établissement(s) français porteur(s) : Ifremer

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : O. Lefort
Année de création : 2011
Année d'exploitation : 2011
Tutelles/Partenaires : CNRS, IRD, Universités marines
Site web : www.flotteoceanographique.fr



ACTRIS-France

Aerosol, Cloud and Trace Gases Research Infrastructure – France

ACTRIS-FR est la composante française d'ACTRIS pour l'observation et l'exploration des aérosols, des nuages et des gaz réactifs et de leurs interactions. ACTRIS est une infrastructure de recherche européenne distribuée, en support des recherches sur le climat et la qualité de l'air. Elle permet d'améliorer la compréhension de l'évolution des processus et de la composition atmosphériques.

ACTRIS fournit aux utilisateurs des informations sur la variabilité 4-D des espèces à temps de vie court avec un haut niveau de qualité, issues de plateformes d'observation et d'exploration.

ACTRIS opère des plateformes centrales (centres de données et de calibration) et fournit des services destinés à une large communauté d'utilisateurs travaillant sur les modèles chimie/climat, sur la validation des données satellitaires ou sur l'analyse de la prévision du temps ou de la qualité de l'air.



© François Gheusi

Enfin, ACTRIS propose des accès physiques ou à distance à ses plateformes au service des communautés scientifiques et du secteur privé favorisant ainsi la recherche, la formation et l'innovation technologique.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

De par sa stratégie d'accès, ACTRIS-FR est résolument tournée vers le monde socio-économique. En moyenne par an sont identifiés : 320 utilisateurs du monde entier des services offerts par les plateformes, 2 000 jeux de données ACTRIS-FR téléchargés, 15 contrats de collaborations avec le secteur industriel et 15 thèses. Le rayonnement scientifique et l'expertise sont illustrés par ~150 publications et 60 actions de formation par an.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://git.icare.univ-lille1.fr
- Production annuelle de données : 20 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : S. Sauvage
Année de création : 2016
Année d'exploitation : 2016
Tutelles/Partenaires : CEA, CNES, IMT, INERIS, IPEV, IRD, ENPC, École polytechnique (X), Aix Marseille Université, Université de Lille, Université Clermont Auvergne, Université Grenoble Alpes, Université d'Orléans, Université de Paris, Université Paris-Est Créteil, Université de La Réunion, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, ENS PSL, Institut polytechnique de Grenoble, Université Sorbonne Paris Nord, Université Toulouse III - Paul Sabatier
Site web : www.actris.fr

Dimension internationale

ACTRIS, ESFRI project
Responsable : E. Juurola

Pays partenaires : AT, BE, BG, CY, ES, FI, FR, GR, IT, NL, PL, CZ, RO, GB
Site internet : www.actris.fr



AnaEE-France

Analyse et Expérimentation sur les Écosystèmes – France

L'infrastructure AnaEE France offre à la communauté scientifique, aux entreprises et aux organisations issues de la société civile un accès à des dispositifs expérimentaux dédiés à l'étude des écosystèmes continentaux terrestres et aquatiques et distribuées sur le territoire national métropolitain et ultramarin. L'infrastructure accompagne également la réalisation des projets de recherche en proposant un accès aux données et à ses plateformes analytiques. Spécifiquement, AnaEE France rassemble 33 dispositifs originaux permettant de manipuler les écosystèmes soit en conditions plus ou moins contrôlées soit en milieu ouvert en accédant à des expérimentations long terme offrant des milieux différentiés et des historiques documentés ou en réalisant des expérimentations nouvelles notamment dans des écosystèmes alpins et des forêts tropicales. Les plateformes AnaEE France offrent des outils de pointe de caractérisation des écosystèmes afin d'appréhender simultanément les variables d'état relatives aux organismes vivants


© AnaEE France (CNRS, INRAE)

et aux milieux, et les flux de matière et d'énergie. La capacité de caractérisation des écosystèmes est accrue au sein de l'infrastructure par la mise à disposition de 7 plateformes analytiques en laboratoire ou in situ dans le domaine de la génomique environnementale, de la biochimie des sols et de l'analyse des gaz. Pour valoriser les données acquises, l'infrastructure propose un système d'information permettant une diffusion ouverte selon les principes FAIR.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

L'infrastructure héberge environ 10 % de projets avec des opérateurs privés avec lesquels elle développe une politique d'accès privilégié, des transferts de licence et des transferts de savoir-faire. Les retombées concernent l'ingénierie écologique et l'agroécologie, la scénarisation de l'atténuation et de l'adaptation aux changements globaux, la sécurité alimentaire et l'approvisionnement en ressources renouvelables pour la bioéconomie.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://forgemia.inra.fr/anaee-dev/semdata
- Production annuelle de données : 10 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.anaee.eu/services/data-and-models-portals

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris 16e, Saint-Pierre-lès-Nemours

Localisation des autres sites (en France) : Aix-en-Provence, Cayenne, Cestas, Champenoux, Clermont-Ferrand, Colmar, Dijon, Grenoble, Kourou, Laon, Lusignan, Montferrier-sur-Lez, Montpellier, Moulis, Nogent-sur-Vernisson, Paris 5e, Rennes, Saint-Michel-l'Observatoire, Saint-Pierre-lès-Nemours, Thiverval-Grignon, Thonon-les-Bains, Villar-d'Arêne

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, INRAE, UGA, CIRAD, ENS PSL

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : J.-F. le Gaillard, A. Chanzy

Année de création : 2012

Année d'exploitation : 2018

Site web : www.anaee-france.fr

Dimension internationale

AnaEE, ESFRI project

Responsable : M. Boer

Pays partenaires : FR, IT, DK, CZ

Site internet : www.anaee.eu



ICOS-France

Système Intégré d'Observation du Carbone/Integrated Carbon Observation System

La mission de l'infrastructure ICOS est d'observer à haute résolution spatiale et au pas de temps journalier les variations des flux surface-atmosphère et des concentrations atmosphériques en gaz à effet de serre. L'infrastructure se compose d'un réseau de monitoring de haute précision, standardisé et à long terme des flux et concentrations en gaz à effet de serre. Elle intègre des observations standardisées de l'atmosphère, des surfaces continentales et des eaux de surface océaniques.
Les observations produites par ICOS et mises à disposition de la communauté scientifique permettent d'explorer les processus à l'origine des échanges atmosphériques des océans et continents, de distinguer les composantes biogéniques, géophysiques et fossiles et d'observer les processus de transport atmosphérique. Elles participent aux observations globales de l'atmosphère terrestre et du climat. Les données


© M. Ramonet

produites par ICOS-RI constituent la base du suivi temporel spatialisé à haute résolution des émissions de gaz à effet de serre. Elles s'appliquent à l'estimation de bilans territoriaux, régionaux, nationaux et globaux de gaz à effet de serre et contribuent à la vérification des politiques énergétiques.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Ces relations sont déployées avec : - la qualification d'émissions (villes, sites industriels, zones portuaires, forêts, prairies, cultures, plates-formes pétrolières, méthaniseurs, partenariat carbone); -des innovations et développements technologiques; - une activité de test d'instruments auprès de différents industriels. Elles mobilisent notamment la chaire TRACE de l'IPSL et plusieurs groupes industriels et collectivités territoriales.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle www.cecill.info
- Production annuelle de données : 60 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.icos-cp.eu/data-services

Catégorie : IR*

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Villenave-d'Ornon

Localisation des autres sites (en France) : Saint-Aubin, Thiverval-Grignon

Établissement(s) français porteur(s) : ANDRA, CNRS, CEA, INRAE, UVSQ

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : D. Loustau

Année de création : 2015

Année d'exploitation : 2015

Tutelles/Partenaires : BRGM, CNES, École nationale supérieure des sciences agronomiques de Bordeaux Aquitaine, École pratique des hautes études, Institut national des sciences et industries du vivant et de l'environnement (AgroParisTech), Institut Pierre Simon Laplace, Météo-France, Avignon Université, Université de Guyane, Université de Lorraine, Université de Montpellier, Université d'Orléans, Université Paul-Valéry - Montpellier 3, Université de Paris-Saclay, Université de Reims Champagne-Ardenne, Sorbonne Université, Université Toulouse III - Paul Sabatier, Université de Grenoble-Alpes, Université de La Réunion, Université Clermont Auvergne, Aix-Marseille Université, IRD, Université des Antilles

Site web : https://icos-france.fr

Dimension internationale

ESFRI landmark

Responsable : W. Kutsch

Pays partenaires : FR, BE, DK, CZ, DE, FI, IT, NL, ES, SE, UK, NO

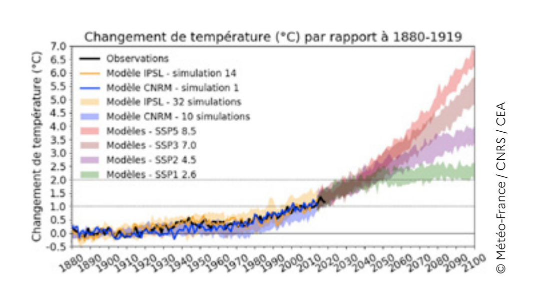
Site internet : www.icos-ri.eu



CLIMERI-France

Infrastructure de recherche nationale de modélisation du système climatique de la Terre

CLIMERI-France est l'infrastructure de recherche nationale de modélisation du climat. Elle a pour mission la réalisation des simulations numériques internationales du Programme mondial de recherches sur le climat et la mise à disposition de leurs résultats. Ces expériences visent à comprendre le fonctionnement du système climatique, à évaluer les capacités des modèles de climat, à soutenir des études de mécanismes et de processus et à produire des projections de l'évolution future du climat.
Ces expériences servent de référence pour les recherches en sciences du climat mais également pour des études d'impact du changement climatique dans différents secteurs, et contribuent à l'élaboration des rapports du GIEC. CLIMERI-France inclut les ressources humaines assurant la mise au point et la maintenance des codes et des outils nécessaires à leur utilisation, la préparation des versions de référence des codes, les outils d''exploitation des données produites par les simulations, les ressources de calcul permettant la réalisation des expériences internationales et les capacités de stockage des données, en partie mis à disposition par GENCI, ainsi que l'infrastructure logicielle permettant la gestion et le contrôle du flux de données et de métadonnées. L'infrastructure met à disposition des codes numériques et des outils logiciels. Elle offre un service d'accès aux données et à une plateforme d'analyse des résultats des modèles climatiques globaux et régionaux.



© Météo-France / CNRS / CEA

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

CLIMERI-France prépare et met à disposition les résultats des simulations climatiques de référence des modèles français. Ces résultats sont utilisés dans les rapports du GIEC et pour les études d'impacts du changement climatique pour différents secteurs socio-économiques (agriculture, énergie, eau, santé…). Ils servent de référence pour les services climatiques, en particulier le service Copernicus sur le changement climatique, et des PME.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle
- Production annuelle de données : 3 Po
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://esgf-node.ipsl.upmc.fr

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Saint-Aubin

Localisation des autres sites (en France) : Bruyères-le-Châtel, Orsay, Paris, Toulouse

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, CEA, Météo-France

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : S. Joussaume

Année de création : 2017

Année d'exploitation : 2017

Tutelles/Partenaires : Sorbonne Université, IRD, CERFACS

Site web : https://climeri-France.fr

Dimension internationale

IS-ENES

Pays partenaires : UK, DE, IT, SE, ES, NL, NO

Site internet : https://is.enes.org



DATA TERRA

Pôles de données et services pour le système Terre

Le système Terre est un système complexe intégrant des milieux physiques et vivants qui évoluent et interagissent entre eux à différentes échelles. Prévoir son évolution, anticiper les impacts et alerter des risques environnementaux sont des enjeux majeurs. Cela nécessite la collecte et l'analyse croisée de données issues de dispositifs d'observation (terre, mer, aéroporté, spatial), de modélisations et d'expérimentations. La complexité des processus étudiés, le nombre et la précision croissante des observations exigent d'intégrer des données multi-sources, multi-échelles, multi-types et de mieux quantifier leurs incertitudes.

Data Terra, fondée sur quatre pôles (surfaces continentales, atmosphère, océans, Terre solide) et des services transversaux, développe un dispositif global d'accès et de traitement de données, produits et services pour : faciliter l'accès et l'utilisation de données et services FAIR, développer des services sur l'ensemble du cycle de la donnée et des approches



© Data Terra - © CNES 2015, distribution Airbus DS - © Shom, 2018. MNT bathymétrique de façade de la Guadeloupe et de la Martinique (Projet Homonim) © Pexels © MTD

interdisciplinaires pour les communautés scientifiques, les acteurs publiques et de l'innovation.

Cette E-infrastructure du domaine de l'environnement – ouverte et interopérable – permet l'extraction, le croisement et un accès transparent et continu à des données multi-sources, multi-domaines et multi-organismes du système Terre. En Europe et à l'International, Data Terra contribue à EOSC, aux missions et applications spatiales et à la mise en œuvre de jumeaux numériques de la Terre.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

L'IR Data Terra est un espace dédié et ouvert à l'innovation destiné à renforcer le continuum entre la Recherche, l'action publique et la sphère économique à toutes les étapes du cycle de vie de la donnée et en aval de la chaine de valeur ajoutée. Il s'agit, à travers les nombreuses interactions et partenariats, de favoriser les mécanismes de création ou de transfert de valeur du monde de la Recherche vers les acteurs du monde socio-économique.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://gitlab.in2p3.fr/ipsl/espri/espri-obs
- Production annuelle de données : 10 Po
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.data-terra.org

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Montpellier

Localisation des autres sites (en France) : Paris, Plouzané, Toulouse

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, CNES, IRD, INRAE, IFREMER, Meteo-France, IGN

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : F. Huynh

Année de création : 2016

Année d'exploitation : 2018

Tutelles/Partenaires : IPG de Paris, CEA, BRGM, ONERA, SHOM, CIRAD, INERIS, Sorbonne Université, École polytechnique (X), Observatoire de Paris, OCA, Université de Lille, Université Toulouse III - Paul Sabatier, UGA, Université de Strasbourg, AgroParisTech, UCA

Site web : www.data-terra.org, www.odatis-ocean.fr, www.theia-land.fr, www.aeris-data.fr, www.poleterresolide.fr, www.data-terra.org/category/dinamis



eLTER-France OZCAR

Observatoires de la Zone Critique, Applications et Recherche

eLTER-France OZCAR est une IR distribuée mettant en réseau des sites instrumentant, sur le long terme, les différents compartiments de la Zone Critique des surfaces continentales : sol, sous-sol, eau, zones humides et glace. Il s'agit de mesurer en continu, modéliser et gérer les flux d'eau, de carbone et des éléments associés. Ces observatoires, véritables sentinelles des changements globaux, permettent d'aborder les grands enjeux scientifiques visant à une meilleure compréhension intégrée des stocks et des flux d'énergie et de matière à la surface des continents le long de gradients climatiques, topographiques, géologiques ou d'utilisation des terres.

eLTER-France OZCAR est une IR essentielle pour obtenir une vision élargie et consolidée des changements environnementaux à l'œuvre sur les surfaces continentales, à l'échelle des territoires (« des milieux »). Elle associe des observatoires de recherche élémentaires portés par les différents organismes de recherche qui les soutiennent. Elle offre une gouvernance



et une méthodologie partagées au service de l'étude du fonctionnement et de l'évolution de la Zone Critique à l'heure de l'Anthropocène, pour la recherche, l'appui aux politiques publiques et le monde économique.

Les services concernent la mise à disposition de sites densément instrumentés, le partage de leurs données, le partage d'un parc instrumental et l'innovation technologique, et la modélisation intégrée de la Zone Critique.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

eLTER-France OZCAR est en contact avec les acteurs du territoire où sont implantés les observatoires sur les questions de la ressource en eau, en sol et la biodiversité, ainsi que sur les risques naturels. L'impact socio-économique de l'IR se manifeste via la mise au point de capteurs environnements innovants pour ausculter la Zone Critique, l'expertise environnementale et la production de données long-terme en lien avec les changements globaux.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/theia-ozcar-is
- Production annuelle de données : 500 Go
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://data.icos-cp.eu/portal

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris, Paris 5e

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, IRD, INRAE, BRGM, ANDRA

Directeurs de l'infrastructure ou représentant(s) en France : J. Gaillardet, I. Braud

Année de création : 2016

Année d'exploitation : 2016

Tutelles/Partenaires : IPEV, Météo-France, IPG de Paris, Université Grenoble Alpes, Université de Rennes 1, Université de Strasbourg, Université Bourgogne - Franche-Comté, Avignon Université, Université de Caen Normandie, Université d'Orléans, Université de La Réunion, Université Toulouse III - Paul Sabatier, Université de Lyon, Université de Bordeaux, Sorbonne Université, Institut Mines-Télécom, Toulouse INP, CNES, Université Gustave Eiffel, CEA

Site web : www.ozcar-ri.org/fr

Dimension internationale

eLTER RI, ESFRI project

Responsable : M. Mirtl

Pays partenaires : AT, DE, BE, BG, CH, CZ, DK, ES, GR, FI, FR, HU, IL, IT, LV, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, GB

Site internet : www.lter-europe.net/elter-esfri



eLTER-France RZA

Réseau des Zones Ateliers – Infrastructure des Socio-écosystèmes

Le Réseau des Zones Ateliers (RZA, CNRS-INEE) incarne en France la recherche sur les socio-écosystèmes et le développement des sciences de la soutenabilité (Plateformes LTSER). Il aborde le fonctionnement et l'évolution des socio-écosystèmes sous l'emprise des différentes facettes du changement global. En appui très fort sur des approches disciplinaires au sein des champs des sciences de la nature (avec un accent marqué sur l'écologie) comme des sciences humaines et sociales (géographie, économie et droit, avec des ouvertures de plus en plus fortes vers la sociologie, l'anthropologie et les sciences sociales du politique), les ZAs stimulent des approches véritablement interdisciplinaires et des co-recherches entre chercheurs et acteurs des territoires. Le RZA et la diversité des ZAs qui le composent se veut donc à la fois (i) une mosaïque de laboratoires à ciel ouvert où ces approches inter- et transdisciplinaires peuvent se déployer, être testées pour accompagner les territoires dans leur transformation vers davantage de soutenabilité et (ii) un terrain pour penser en inter-ZA la question des changements d'échelle à travers des études comparatives et/ou le test d'hypothèses sur le fonctionnement et l'évolution des socio-écosystèmes, le long de gradients qui peuvent être climatiques, anthropiques, ou d'historique des relations chercheurs-acteurs. Le RZA, devenu IR en 2018, contribue avec l'IR OZCAR à la feuille de route européenne ESFRI via le nœud français d'eLTER.


© Réseau des Zones Ateliers

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Le service principal offert par l'IR RZA est la co-construction de connaissances entre chercheurs et acteurs socio-économiques pour accompagner les territoires dans leur transformation vers davantage de soutenabilité. Les chercheurs des ZAs interagissent ainsi avec de nombreuses parties prenantes telles que des associations, des gestionnaires, des agences (eau, biodiversité…), des spécialistes du monde de l'éducation ou des décideurs.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Production annuelle de données : 1 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.indores.fr

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Localisation des autres sites (en France) : Aubière, Auzeville-Tolosane, Besançon, Grenoble, Paris, Plouzané, Rennes, Saint-Pée-sur-Nivelle, Strasbourg, Tours, Vandœuvre-lès-Nancy, Villeurbanne, Villiers-en-Bois
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : O. Ragueneau
Année de création : 2018
Année d'exploitation : 2018
Tutelles/Partenaires : INRAE, CIRAD, IPEV
Site web : www.za-inee.org

Dimension internationale

ESFRI project
Responsable : M. Mirtl

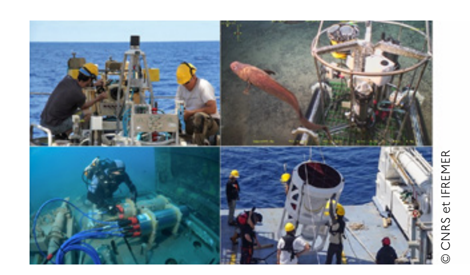
Pays partenaires : AT, DE, CH, BE, BG, CZ, DK, GR, ES, FI, FR, HU, IL, IT, LV, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SK, SI, GB
Site internet : www.lter-europe.net/elter-esfri



EMSO-France

European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory – France

EMSO France est le nœud français de l'infrastructure Européenne (ERIC) EMSO (« European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory ») qui met en œuvre les observatoires marins pluridisciplinaires distribués en milieu profond sur le pourtour européen. L'ERIC EMSO a pour objectif d'acquérir des séries temporelles longues et haute fréquence sur un point donné, à la fois sur le fond de l'océan et dans la colonne d'eau avec pour objectifs scientifiques principaux : 1) l'étude des processus sismiques, volcaniques, hydrothermaux et gravitaires ; 2) l'étude des écosystèmes marins profonds dans une optique de recherche fondamentale mais aussi de gestion durable, en particulier vis-à-vis des facteurs anthropiques et climatiques ; 3) la contribution au suivi des changements globaux. Sur chaque site, les installations sont composées d'équipements permettant d'acquérir les données d'observation en milieu marin profond, de systèmes qui assurent la communication bidirectionnelle entre les installations en mer et la Terre et des plateformes sur lesquelles les données acquises sont en accès libre. Les sites EMSO France sont situés aux Açores (depuis 2010), en mer Ligure (depuis 1988), en mer d'Iroise (site de test). Un projet est à l'étude en Mer de Marmara.



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Développement de systèmes et services pour le suivi d'impact d'exploitations pétrolières, minières, EMR. Recherche partenariale au bénéfice de l'innovation des entreprises dans le cadre des Pôles Mer Bretagne et Méditerranée et de la labellisation Carnot de l'iC MERS. Offre d'accès aux sites pour le déploiement de systèmes. Contribution à l'UNEP/GEO, l'IPCC, OSPAR, la DCSSM par l'acquisition de variables essentielles de l'océan et du climat.

Science ouverte et données

- La totalité des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://gitlab.ifremer.fr
- Production annuelle de données : 1 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.seanoe.org/data/00311/42182

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Plouzané, Villefranche-sur-Mer
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, Ifremer

Directeurs de l'infrastructure ou représentant(s) en France : L. Coppola, N. Lantéri
Année de création : 2014
Année d'exploitation : 2014
Site web : www.emso-fr.org/EMSO-France

Dimension internationale

EMSO ERIC, ESFRI landmark
Responsable : J. J. Dañobeitia

Pays partenaires : IT, FR, ES, GR, UK, IE, PT, RO, NO
Site internet : http://emso.eu



IAGOS-France

Instruments de mesure embarqués sur avions pour l'observation globale/ In-service Aircraft for Global Observing System

IAGOS est une infrastructure de recherche européenne, unique au monde, qui a pour objectif d'établir et d'opérer un réseau global d'observation à long terme de la composition de l'atmosphère : gaz traces réactifs (ozone, CO, NOx), gaz à effet de serre (H_2O, CO_2, méthane), aérosols et particules nuageuses (gouttes d'eau et cristaux de glace) grâce à des instruments automatiques embarqués sur une flotte d'une quinzaine d'avions de ligne (de type Airbus) appartenant à des compagnies aériennes internationales. Le but est de construire la plus dense base de données in-situ à haute résolution spatiale et temporelle sur plusieurs décennies pour surveiller l'évolution de la composition atmosphérique impliquée dans le changement climatique et la qualité de l'air. IAGOS a su démontrer que le vecteur avion commercial était la plateforme idéale pour des mesures in-situ à long terme dans la zone de l'atmosphère la plus critique vis-à-vis de l'effet de serre (la haute troposphère – basse stratosphère). Les mesures fournissent aussi des profils verticaux



© Lufthansa Archive

dans toute la troposphère entre la surface et 12 km d'altitude d'intérêt majeur pour les questions de qualité de l'air. Fin 2021, la base de données regroupe plus de 63 000 vols couvrant déjà plus de 25 ans. Ces observations sont exploitées par la communauté scientifique, les centres de prévisions météorologiques et de prévision de la qualité de l'air, le Service Atmosphérique du programme Copernicus (CAMS), et plus largement par GEOSS.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

En France, une partie des activités de IAGOS est exécutée par des sous-traitants aéronautiques des régions Occitanie et Aquitaine : industrialisation de la production des instruments par la société LGM, certificats de navigabilité aérienne par la société Sabena-Technics. En Allemagne, deux sous-traitants aéronautiques sont aussi impliqués : enviscope, GmbH et Gomolzig (GFM) pour la maintenance, la logistique et la certification des instruments.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/sedoo/soft-io
- Production annuelle de données : 150 Go
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.aeris-data.fr/catalogue

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Toulouse

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, Météo-France, Universtité Toulouse III - Paul Sabatier

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : V. Thouret

Année de création : 2008

Année d'exploitation : 2008

Tutelles/Partenaires : AERIS

Site web : www.iagos-data.fr

Dimension internationale

IAGOS, ESFRI landmark

Responsable : V. Thouret

Pays partenaires : FR, DE, GB

Site internet : www.iagos.org



ILICO

Infrastructure de Recherche LIttorale et COtière

L'infrastructure de recherche littorale et côtière (ILICO) est l'infrastructure de recherche française dédiée à l'observation et à la compréhension des évolutions à long-terme des milieux marins côtiers et littoraux, de métropole et outre-mer. ILICO occupe une position stratégique de structuration de l'observation et de la recherche sur les milieux naturels situés à l'interface entre le Continent et l'Océan. L'IR fédère des dispositifs d'observation inter-organismes pérennes (dont 8 « Services Nationaux d'Observation » (SNO) labellisés). ILICO a également pour mission de veiller à ce que les observations dans les milieux littoraux et côtiers répondent aux enjeux sociétaux et questions scientifiques associées. Elle est garant de l'interopérabilité et de la qualité des observations effectuées par les différents systèmes d'observation. ILICO pilote un réseau d'animation scientifique qui assure la réflexion et la prospective scientifique transversale, et favorise



© ILICO

l'interdisciplinarité, via des actions structurantes transversales. Ce réseau inter-organismes est composé de plus de 60 laboratoires (implantés en métropole et en outre-mer) qui mènent une recherche sur les milieux marins côtiers et littoraux. L'IR ILICO est le nœud français du projet d'infrastructure européenne en cours de construction JERICO-RI (Joint European Research Infrastructure for Coastal Observatories).

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

- Liens avec les services de l'État, chargés de la gestion de l'environnement, en métropole et en outre-mer (santé des écosystèmes côtiers, qualité des eaux, risques littoraux, impacts des changements globaux); -Développements exploratoires avec PME et industries (développement technologique, traitement et mutualisation de ressources); -Rapprochement avec le secteur privé et/ou la société autour de nouveaux produits/services, méthodes d'acquisition.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 5 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.odatis-ocean.fr/donnees-et-services/acces-aux-donnees

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Plouzané

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, Ifremer

Directeurs de l'infrastructure ou représentant(s) en France : J. Paillet, C. Delacourt

Année de création : 2016

Année d'exploitation : 2016

Tutelles/Partenaires : IRD, SHOM, IGN, Université de Bretagne Occidentale, Sorbonne Université, Aix-Marseille Université, Université Bretagne Sud, Université de Caen Normandie, Université de Lille, Université du Littoral Côte d'Opale, Université de Nantes, La Rochelle Université, Université de Bordeaux, Université Toulouse III - Paul Sabatier, Université de Perpignan Via Domitia, Université de Montpellier, Université Côte d'Azur, Université de Toulon, Université Le Havre Normandie, MNHN, Météo-France, BRGM, CEREMA, OFB

Site web : www.ir-ilico.fr

Dimension internationale

JERICO-RI

Site internet : www.jerico-ri.eu



IN AIR

Infrastructure Nationale des Aéronefs Instrumentés pour la Recherche

IN AIR exploite une vaste d'aéronefs instrumentés permettant de réaliser des observations variées de la Terre et de l'Espace, ainsi que des validations d'innovations technologiques dans l'aéronautique et le spatial. Les aéronefs mis à disposition des communautés scientifiques sont :

– des avions laboratoires (ATR 42, Piper Aztec) permettant d'embarquer jusqu'à 2 tonnes de charge scientifique ;
– des ballons stratosphériques ouverts, qui sont l'unique moyen d'envoyer dans la stratosphère plusieurs centaines de kg de charge scientifique ;
– des ballons pressurisés permettant de mener des mesures de plusieurs mois à la tropopause ;
– des ballons sondes (ballons météo), permettant de sonder la troposphère et la stratosphère avec des charges limitées ;
– des ballons captifs utilisés pour étudier la couche limite atmosphérique.

IN AIR met au service des scientifiques son savoir-faire pour déployer des équipements divers provenant



© DR SAFIRE

des utilisateurs ou du parc instrumental de l'IR. Les experts d'IN AIR préparent et réalisent des vols de mesures, partout dans le monde, suivant les besoins des utilisateurs. L'activité d'IN AIR intéresse la physique et chimie de l'atmosphère, l'étude des surfaces et interfaces continentales et océaniques, l'astrophysique, la météo de l'espace, la médecine, ainsi que la recherche et technologie dans le domaine aérospatial. Les données de vol sont valorisées sur une base de données centralisée développée en lien avec AERIS (IR DATA TERRA), centre de donnée et de services de l'IR.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Dans le cadre de ses objectifs d'excellence, IN AIR a des relations nombreuses et diversifiées avec les acteurs économiques :

– R&D d'enveloppe ballon ;
– Synergie avec le domaine commercial prometteur des pseudo-satellites ;
– Fournisseur de vols d'essais pour des industriels de l'aéronautique et du spatial ;
– Fournisseur de vols d'essais pour les PME développant des instruments de mesure ;
– Expertise technique pour des startups.

Science ouverte et données

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, CNES, Météo-France

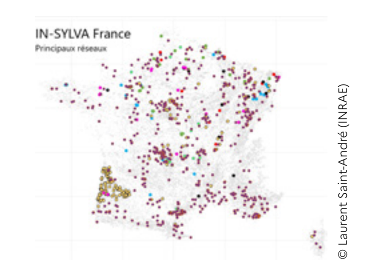
Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : A. Bourdon
Année de création : 2021
Année d'exploitation : 2021



In-Sylva France

In-Sylva France Infrastructure Nationale de recherche pour la gestion adaptative des forêts

In-Sylva France est une Infrastructure Nationale de recherche (IR) distribuée pour la gestion adaptative des forêts. Elle contribue à favoriser une vision intégrée de la gestion des forêts pour permettre son adaptation au changement climatique, la protection de sa biodiversité et la production durable de services écosystémiques, prenant en compte la diversité des écosystèmes forestiers et des situations locales (pédoclimatiques, organisation filières, gouvernances locales). In-Sylva France procure des services pour l'observation et l'expérimentation forestière à tous les utilisateurs (académiques et gestionnaires) impliqués dans le Programme national de la forêt et du bois (PNFB). L'infrastructure dispose de réseaux expérimentaux nécessaires au phénotypage à grande échelle (Services In-situ), c'est-à-dire sur plus de 4 000 ha soit 3 000 sites installés pour étudier les interactions entre pratiques, ressources génétiques et environnement. Elle intègre des plateformes analytiques en écologie fonctionnelle, biogéochimie, xylosciences et génétique, dédiées aux mesures à haut-débit d'échantillons (Services In-lab) ainsi que de systèmes d'information et d'analyses pour la valorisation des données (Services In-silico). In-Sylva France alimente la recherche fondamentale et appliquée dans le domaine des sciences forestières. Son originalité est de coupler les leviers sylvicoles, biogéochimiques et génétiques.
https://doi.org/10.15454/1A0P-HE21



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

In-Sylva France est construite au service des filières forêt-bois pour l'adaptation des forêts aux changements globaux et leur capacité à fournir des services multiples. Trois de ses tutelles sont en lien avec la filière : ONF (gestion forêt publique); IDF (service R&D pour les propriétaires privés) et FCBA (CTI pour les industries de transformation du bois). In-Sylva France a des relations avec trois pôles de compétitivité dont Xylofutur.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://forgemia.inra.fr/in-sylva-development
- Production annuelle de données : 500 Go
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://datadryad.org/stash

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Champenoux

Localisation des autres sites (en France) : Ajaccio, Amiens, Ardon, Aubière, Auzeville-Tolosane, Avignon, Birieux, Boigny-sur-Bionne, Bordeaux, Castanet-Tolosan, Cestas, Chambéry, Champs-sur-Marne, Charrey-sur-Saône, Compiègne, Dijon, Dole, Fontainebleau, Gières, Kourou, Le Ban-Saint-Martin, Lempdes, Marseille 4e, Mont-Saint-Aignan, Montpellier, Orléans, Paris, Saint-Herblain, Saint-Martin-d'Hères, Saint-Étienne-du-Rouvray, Verneuil-sur-Vienne, Villers-lès-Nancy, Vincennes

Établissement(s) français porteur(s) : INRAE

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : L. Saint-André

Année de création : 2018

Année d'exploitation : 2018

Tutelles/Partenaires : Université de Rouen Normandie, CIRAD, ONF, Institut technologique Forêt Cellulose Bois Construction Ameublement (FCBA), Centre National de la Propriété Forestière (CNPF)

Site web : www6.inrae.fr/in-sylva-france



PNDB

Pôle National de Données de Biodiversité

Le PNDB est une infrastructure numérique nationale du Système Terre-Environnement, contribuant à la politique de Science ouverte du MESRI. Depuis 2020, il met à disposition un ensemble cohérent d'outils et services pour la description, la mise à disposition, la validation, l'analyse et la réutilisation des données de biodiversité, notamment à l'usage des recherches fondamentales ou finalisées. Il ambitionne de contribuer à construire un cadre scientifique intégratif prenant en compte la biodiversité sur le temps long (depuis les origines de la vie), à toutes les échelles biologiques (de la molécule à l'anthropo-écosystème), et dans toutes ses interactions (climat, activités humaines).

Le PNDB a pour vocation de donner accès à des données produites par d'autres infrastructures, par des institutions ou par des communautés scientifiques, et à des outils permettant de les décrire (métadonnées) et de les traiter (croisement de données). Il contribue ainsi à favoriser la pérennité, l'interopérabilité, l'ouverture et la réutilisation des données



© Sandrine Pavoine, MNHN - Jean-Denis Vigne, MNHN

de biodiversité, et à faire monter en compétence les communautés scientifiques concernées. Il offre une aide à la bancarisation. Il contribue à l'animation des communautés autour de la science ouverte et stimule les interactions entre producteurs et utilisateurs de données.

La PNDB s'inscrit dans le paysage des infrastructures de données de biodiversité national (SIB, SINP, GBIF France...), européen (Lifewatch) et international (GBIF, GEO BON...).

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Le PNDB valorise les données produites par les sciences participatives, notamment celles de Vigie-Nature et Vigie-Nature-École. Le PNDB met à disposition des workflows de calculs de métriques et indicateurs de biodiversité dans le cadre notamment de son implication dans GEO BON. Le PNDB met à la disposition des bureaux d'étude ses services, notamment les outils de traitement des données tels que Galaxy-E.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/earnaud/MetaShARK-v2
- Production annuelle de données : 10 Go
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : monosite

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris

Établissement(s) français porteur(s) : MNHN

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : J.-D. Vigne

Année de création : 2018

Année d'exploitation : 2020

Tutelles/Partenaires : CNRS, Ifremer, OFB, INRAE, IRD, CIRAD, BRGM, INERIS, Dix universités sont également signataires de la convention inter-établissements (accord de consortium)

Site web : www.pndb.fr



RARe

Ressources Agronomiques pour la Recherche

RARe est l'infrastructure de référence pour sécuriser, documenter et distribuer les ressources de la biosphère du système Terre. Elle rassemble cinq réseaux de Centres de Ressources Biologiques (CRB) gérant des ressources biologiques animales, végétales, forestières, microbiennes et des matrices complexes issues de l'environnement, ainsi que les données associées (biologiques, génétiques, réglementaires et juridiques). Elle dispose d'un portail d'entrée unique qui permet d'explorer ces ressources. Le maintien d'une grande diversité de ressources place les CRB au cœur de nombreux programmes de recherche destinés à explorer le vivant et les écosystèmes et à valoriser la biodiversité pour l'agriculture, l'alimentation, l'environnement et la santé. L'infrastructure a pour but d'améliorer la visibilité de ces ressources et de faciliter leur utilisation pour la recherche au niveau national et international. Elle est membre du GGBN. Le pilier microbien de RARe participe à l'infrastructure MIRRI de la feuille de route ESFRI. Ces missions


© photothèque INRAE

s'accompagnent d'une animation scientifique intersectorielle et de développements technologiques pour préserver et caractériser les ressources biologiques. L'infrastructure mutualise les compétences entre ses CRB constitutifs et harmonise leurs pratiques. La valorisation des ressources est réalisée en cohérence avec les politiques partenariales des organismes de tutelle. Elle propose des outils pour faciliter l'application du protocole de Nagoya.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Le partenariat de RARe concerne les productions végétales, forestières, animales, les industries agro-alimentaires, la valorisation non alimentaire de la biomasse, les biotechnologies, le biocontrôle. Certains partenaires proviennent des secteurs de la santé et de la cryobiologie. Des entreprises, des associations de producteurs ou des instituts techniques utilisent les services des CRB et construisent des projets en partenariat avec eux.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://forgemia.inra.fr
- Production annuelle de données : 1 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://eurisco.ipk-gatersleben.de

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Jouy-en-Josas

Localisation des autres sites (en France) : Ardon, Auzeville-Tolosane, Avignon, Beaucouzé, Biot, Bourran, Cestas, Clermont-Ferrand, Dijon, Gouffern en Auge, Jouy-en-Josas, Lusignan, Maisons-Alfort, Marcy-l'Étoile, Marseille, Mignaloux-Beauvoir, Montpellier, Nouzilly, Papeete, Paris, Petit-Bourg, Rennes, Saint-Pierre, Saint-Pierre-d'Amilly, Sinnamary, Sète, Thiverval-Grignon, Versailles

Établissement(s) français porteur(s) : INRAE, CIRAD, IRD

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : M. Tixier-Boichard

Année de création : 2015

Année d'exploitation : 2015

Tutelles/Partenaires : CNRS, AMU, Université de Tours, Université d'Angers, Vetagro-Sup, Institut Agro, AgroParisTech, Anses, Ifremer, Inserm, ENVA, ENVT, ONIRIS

Site web : http://agrobrc-rare.org

Dimension internationale

MIRRI, ESFRI project

Responsable : L. Soarez

Pays partenaires : BE, ES, FR, GR, IT, LV, NL, PL, PT

Site internet : www.mirri.org



RECOLNAT

Réseau national des collections naturalistes

Les collections naturalistes conservées en France représentent environ 120 millions d'objets. Ces archives de la biodiversité et de la géodiversité représentent aujourd'hui un patrimoine irremplaçable et sont des atouts indéniables pour la recherche scientifique présente et future. L'infrastructure RECOLNAT a pour mission générale de produire, mobiliser, rassembler, harmoniser et donner accès aux collections naturalistes et à leurs données. L'ambition est de pouvoir proposer aux communautés scientifiques des données naturalistes de qualité, à la bonne échelle, interopérables et dans le bon format, permettant de répondre aux grands enjeux environnementaux et sociétaux. Aussi, RECOLNAT vise à constituer un réseau d'excellence scientifique en rassemblant les acteurs de la conservation et de l'étude des collections naturalistes. Elle donne accès aux données via un portail rassemblant près de 11 millions d'images provenant de plus de 80 institutions (muséums, universités, etc.). Ce corpus est aussi enrichi par le programme de sciences participatives « Les Herbonautes », dont la communauté constitue des jeux de données pour des travaux de recherche sélectionnés. L'infrastructure met également à disposition des outils pour les chercheurs travaillant sur les doubles numériques des collections. Piloté par le Muséum national d'histoire naturelle, RECOLNAT constitue également le point nodal français de l'infrastructure européenne DiSSCo (Distributed System of Scientific Collections).



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

L'infrastructure RECOLNAT sert de support de recherche à la communauté des naturalistes, avec une forte proportion de systématiciens et de spécialistes des collections. Elle vient également nourrir la demande sociétale liée à l'expertise, l'identification des espèces ou encore les changements environnementaux. Elle participe à enrichir les corpus de données ouvertes sur la biodiversité et la géodiversité au niveau international.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/DiSSCo/herbonauts
- Production annuelle de données : 50 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://inpn.mnhn.fr/espece/cadre/101

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris

Établissement(s) français porteur(s) : MNHN

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : F. Dusoulier

Année de création : 2013

Année d'exploitation : 2014

Tutelles/Partenaires : UCA, Université Claude Bernard - Lyon 1, Université de Rennes 1, Muséum d'histoire naturelle de Dijon, UB, AMU, Université de Montpellier, CIRAD, Muséum d'histoire naturelle de La Rochelle, Muséum Aquarium de Nancy, Muséum d'histoire naturelle de Marseille, Université de Lorraine, UGA, IRD, Muséum d'histoire naturelle de Lille, Muséum d'histoire naturelle de Toulouse, Sorbonne Université, Muséum d'histoire naturelle de Nantes, Musées de Gaillac, Muséum d'histoire naturelle de Troyes, Université Toulouse III - Paul Sabatier, Office de l'environnement de la Corse, Muséum d'histoire naturelle de Nice, Société botanique d'Alsace, Muséum d'histoire naturelle de Besançon

Site web : www.recolnat.org

Dimension internationale

DiSSCo, ESFRI project

Responsable : D. Koureas

Pays partenaires : FR, DE, AT, BE, BG, DK, ES, EE, FI, GR, HU, IT, LU, NO, NL, PL, PT, CZ, UK, SK, SE

Site internet : www.dissco.eu/fr-fr/

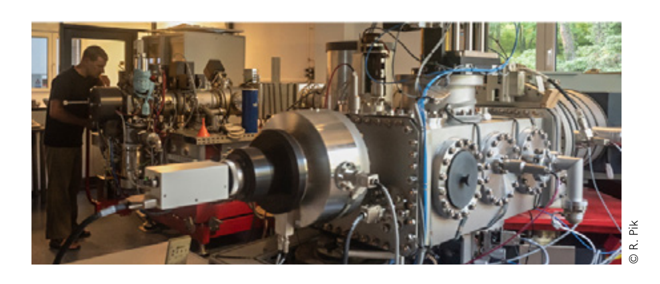


RéGEF

Réseau Géochimique et Expérimental Français

RéGEF est une Infrastructure de recherche transversale bâtie autour d'un réseau d'instruments de mesure, d'imagerie et d'expérimentation, qui met en œuvre des moyens pour fournir des données aux programmes de recherches, aux Services Nationaux d'Observation, et à d'autres Infrastructures de Recherche.

Le poids des données de la géochimie/minéralogie dans notre compréhension et notre conceptualisation du système Terre est considérable. Les moyens analytiques et expérimentaux qui produisent ces données représentent un pan majeur de la quantification des processus en Géosciences et Sciences de l'Environnement. Dans ce contexte l'IR RéGEF a deux objectifs principaux : (i) maintenir l'innovation et le développement technologique au plus haut niveau, tout en (ii) organisant l'accès aux instruments et la production de données pour la communauté scientifique. L'infrastructure est au cœur du transfert entre (i) les phases de développement et d'innovation des traceurs et méthodologies pour mettre en évidence de nouveaux processus, (ii) leur utilisation par la communauté pour documenter les systèmes géologiques et environnementaux, et (iii) leur archivage dans un effort de pérennisation et d'optimisation de l'information scientifique.


© R. Pik

RéGEF est une initiative portée par le CNRS-INSU en partenariat avec les EPST, EPIC et Universités des UMRs qui hébergent les instruments, pour assurer et optimiser le maillage et l'accessibilité à travers tout le territoire national.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

RéGEF produit des données indispensables à la description et la compréhension du système Terre, utilisées par d'autres infrastructures en prise directe avec les problématiques sociaux-économiques (environnement, risque, climat, santé…). Ses liens avec les industriels qui développent et commercialisent les instruments sont aussi très forts. Une partie de son activité se fait en partenariat avec les services R&D de grandes firmes industrielles.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 10 To

Catégorie : Projet
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : R. Pik
Année de création : 2017
Année d'exploitation : 2019
Tutelles/Partenaires : CEA, IRD, IPGP, MNHN, IFREMER, BRGM, France Université et 25 universités
Site web : www.regef.fr



Résif-Epos

Réseau sismologique et géodésique français/European Plate Observing System

Résif-Epos déploie en France une instrumentation moderne pour comprendre la dynamique de la Terre interne, ses aléas naturels et anthropiques, et l'interaction avec les enveloppes fluides. Le séisme de magnitude 4.9 Mw de Montélimar le 11/11/2019 a confirmé, par son impact socio-économique, l'importance de la prévention et de la gestion de la vulnérabilité face au risque sismique en France. Résif-Epos fournit les données issue d'instruments (sismomètres, stations GNSS et gravimètres) qui mesurent la déformation de la surface terrestre depuis les mouvements tectoniques séculaires jusqu'aux secousses sismiques instantanées. Il joue ainsi un rôle clé pour mieux comprendre les aléas telluriques sur notre territoire. Plus largement, son parc d'instruments couvrant toute la métropole ouvre une nouvelle fenêtre vers l'intérieur de la Terre, afin de mieux comprendre son fonctionnement et sa dynamique. En fédérant les expertises sur les méthodes innovantes d'imagerie sismique et de géodésie, Résif-Epos fournit également des données clefs pour mieux comprendre le sous-sol, afin d'en permettre une gestion optimisée et modérée. Toutes les données provenant des instruments Résif-Epos et des produits dérivés sont distribuées librement et gratuitement. Résif-Epos est une contribution française majeure à EPOS (devenu ERIC en 2018), coordonnant les activités EPOS en France et intégrant les données et produits français dans le système opérable d'EPOS.



Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Résif-Epos améliore la connaissance de la sismicité et des caractéristiques de la propagation des ondes sismiques sur le territoire français et contribue ainsi à la prévention et à l'opérationnel : évaluation de l'aléa et des risques, évaluation rapide des dégâts et gestion de crise, normes de construction, lien entre dégâts sur immeubles et sismicité, éléments de réassurance, la sismicité induite par de l'activité humaine, etc.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://gricad-gitlab.univ-grenoble-alpes.fr/OSUG/RESIF/
- Production annuelle de données : 30 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://seismology.resif.fr/fr/page-daccueil-2/

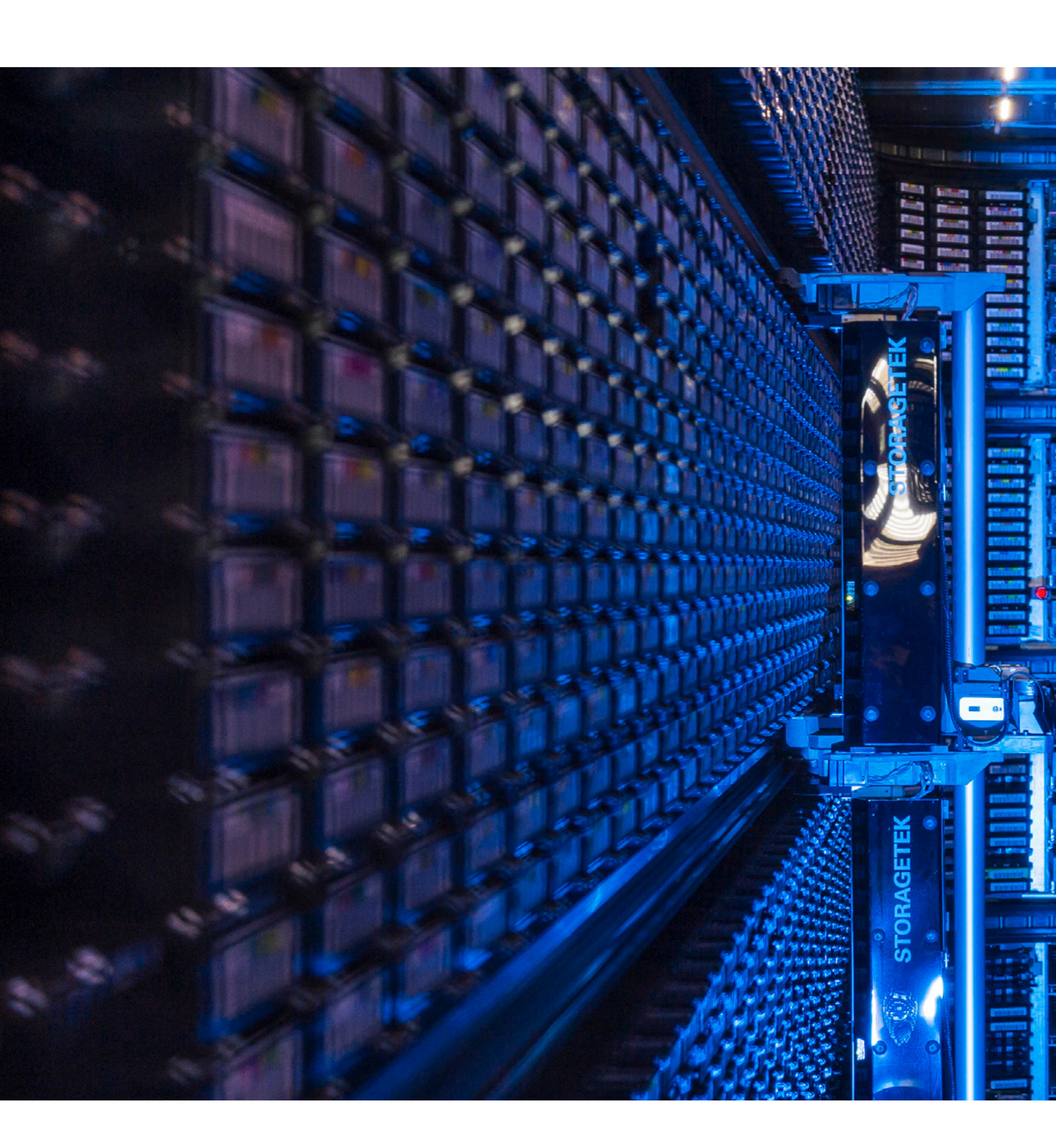
Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Localisation des autres sites (en France) : Arpajon, Aubière, Besançon, Fontenay-aux-Roses, Gières, Le Mans, Montpellier, Nantes, Paris 5e, Pessac, Rennes, Saint-Mandé, Saint-Martin-d'Hères, Strasbourg, Toulouse
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : A. Walpersdorf
Année de création : 2011
Année d'exploitation : 2011
Tutelles/Partenaires : BRGM, CEA, CNES, CNRS, IFREMER, Université Gustave Eiffel, IGN, IPG Paris, IRD, IRSN, Observatoire de la Côte d'Azur, Université Clermont Auvergne, Université Grenoble Alpes, Université de Montpellier, Université de Nantes, Université Côte d'Azur, Université Toulouse III - Paul Sabatier Toulouse, Université de Strasbourg
Site web : www.resif.fr

Dimension internationale

EPOS, ESFRI landmark
Responsable : L. Freda

Pays partenaires : BE, DK, FR, GR, IS, IT, NO, NL, PL, PT, RO, GB, SI
Site internet : www.epos-eu.org

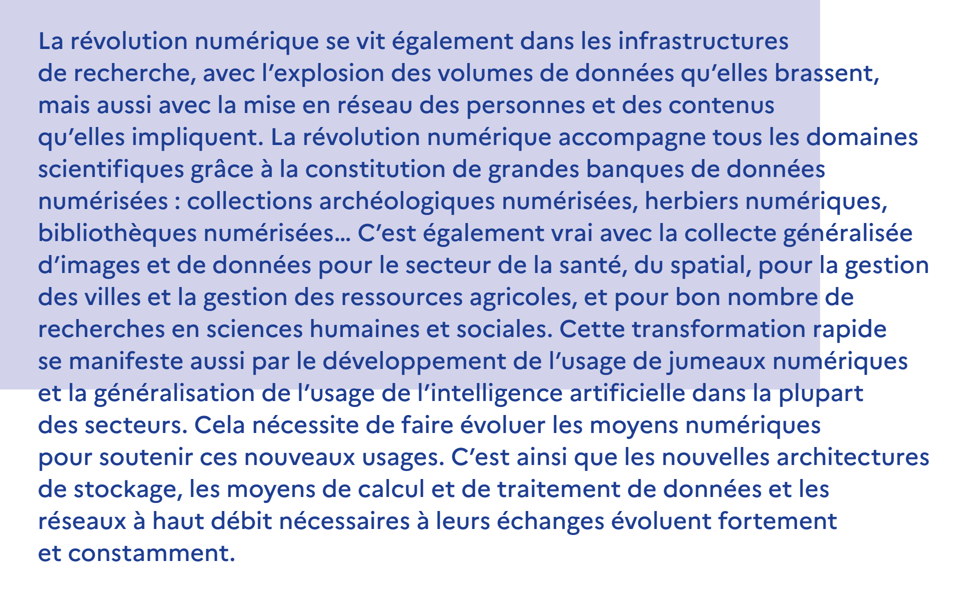

STORAGETEK
STORAGETEK

9.

Services et infrastructures numériques



Infrastructures et **services numériques**





La révolution numérique se vit également dans les infrastructures de recherche, avec l'explosion des volumes de données qu'elles brassent, mais aussi avec la mise en réseau des personnes et des contenus qu'elles impliquent. La révolution numérique accompagne tous les domaines scientifiques grâce à la constitution de grandes banques de données numérisées : collections archéologiques numérisées, herbiers numériques, bibliothèques numérisées… C'est également vrai avec la collecte généralisée d'images et de données pour le secteur de la santé, du spatial, pour la gestion des villes et la gestion des ressources agricoles, et pour bon nombre de recherches en sciences humaines et sociales. Cette transformation rapide se manifeste aussi par le développement de l'usage de jumeaux numériques et la généralisation de l'usage de l'intelligence artificielle dans la plupart des secteurs. Cela nécessite de faire évoluer les moyens numériques pour soutenir ces nouveaux usages. C'est ainsi que les nouvelles architectures de stockage, les moyens de calcul et de traitement de données et les réseaux à haut débit nécessaires à leurs échanges évoluent fortement et constamment.

À chaque étape des projets de recherche, on trouve une composante numérique qu'il faut maintenir au meilleur niveau : production et acquisition des données, traitement (dont calcul), stockage, échange et partage, diffusion et réutilisation, conservation et archivage. La bonne exploitation des données, au sens large, et l'offre de services numériques qu'il faut développer autour, reposent sur le bon niveau de performance d'accessibilité et de robustesse des infrastructures numériques qu'il est nécessaire de soutenir compte tenu des enjeux de compétitivité pour l'offre scientifique nationale. La préparation de la réutilisation et de l'échange interdisciplinaire de ces grandes masses de données nécessite que leur gestion et les modalités de leur accès soient facilitées par une gestion anticipée qui est aujourd'hui promue dans le contexte de science ouverte porté mondialement par les États et les grandes institutions de la recherche. Il s'agit des principes FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) permettant de s'assurer que les données soient faciles à trouver, accessibles, interopérables et réutilisables.

Au cœur du dispositif numérique se trouvent les services numériques et les e-infrastructures génériques de réseau, de calcul intensif, et de traitement de données. Toutes les infrastructures de recherche du volet « services numériques » sont des infrastructures socles qui offrent un service à un large éventail de communautés de recherche. Elles permettent une mutualisation de services numériques au niveau national, et le plus souvent sont utilisées par plusieurs communautés.

Dans le même temps, les infrastructures de recherche sont majoritairement organisées en communautés, et elles ont parfois organisé leurs infrastructures numériques dédiées à leur activité. Elles allient ainsi un accès à des ressources ciblées, et le développement de services

dédiés autour des données qu'elles gèrent. Le chapitre « place des données dans les infrastructures de la feuille de route » décrit cette diversité d'approches et de maturité. Les infrastructures numériques communautaires méritent une attention particulière, car elles dimensionnent très bien les ressources numériques mises en jeu, et sont un bon exemple de mutualisation et de rationalisation opérée à l'échelle d'une communauté.

Le volet « information scientifique » est quant à lui un très bon exemple de services numériques qu'il est nécessaire de développer et de maintenir au sein de la stratégie d'ouverture des objets de la recherche, en y intégrant un large spectre d'objets au-delà des seules données.

La nécessité d'une vision globale de l'ensemble de ces dispositifs, allant de l'utilisation des infrastructures numériques génériques à l'interconnexion des infrastructures numériques communautaires, et prenant en compte également le développement de services numériques de publications et de conservation de résultats, amène à définir les éléments d'une stratégie numérique au niveau national.

Cette stratégie nationale doit nécessairement tenir compte des initiatives du domaine au niveau européen. Le numérique est une priorité stratégique du programme Horizon Europe qui vient de démarrer. Avec le projet EOSC (European Open Science Cloud), l'Europe jette les bases d'une cloudification très large, depuis les infrastructures jusqu'aux services et bien sûr d'une ouverture par défaut de la science. Du côté français, nous devons organiser notre participation à ce projet structurant européen, et définir ce que pourra être un cloud ESRI, dans lequel les infrastructures de recherche trouveront leur place et sauront profiter à un maximum de chercheurs.

La mise en œuvre généralisée des principes FAIR, associée à des e-infrastructures et services puissants et partagés, permettront une recherche compétitive et renforceront l'efficacité des infrastructures de recherche.

Services Numériques, Calcul, Réseau



Les enjeux de la transformation numérique pour la recherche visent en particulier à créer un environnement numérique à l'état de l'art et écoresponsable, répondant aux exigences de qualité et aux besoins des différents acteurs et réduisant la complexité de l'environnement numérique proposé aux chercheurs. Pour cela il est nécessaire de :

- héberger les services, les applications, les équipements et les données gérées par la recherche en prenant en compte les exigences associées à toutes les étapes du cycle de vie de ces données ;
- mutualiser les compétences : créer un environnement cohérent au niveau national et s'appuyant sur des compétences régionales ;
- donner à l'ESRI une architecture IT visible et lisible, permettant de soutenir la participation aux grands projets numériques européens et de déployer leurs composantes françaises.

L'architecture des moyens numériques, leur interconnexion, leur efficience, leur robustesse et leur maîtrise deviennent des enjeux critiques qui s'inscrivent dans les critères et les niveaux d'exigence demandés lors de l'évaluation des projets de recherche. Par ailleurs le numérique ne cesse d'évoluer et impose à tous de maintenir à l'état de l'art toutes les couches d'infrastructures numériques sur lesquelles s'appuie la recherche et qui sont schématiquement représentée par la figure 1.

L'augmentation des besoins numériques au niveau national doit faire l'objet d'une attention particulière et doit déboucher sur une stratégie cohérente et volontariste. Le dimensionnement des infrastructures numériques (réseau, capacités de calcul et de traitement, stockage et d'archivage, services applicatifs) doit leur permettre de soutenir tous les processus mis en œuvre tout au long du cycle de vie des données, de leur production jusqu'à leur conservation, ainsi qu'à leur diffusion et leur réutilisation.

Cinq infrastructures sont inscrites sur la feuille de route nationale 2021. Elles sont le plus souvent utilisées par plusieurs, voire par l'ensemble des communautés

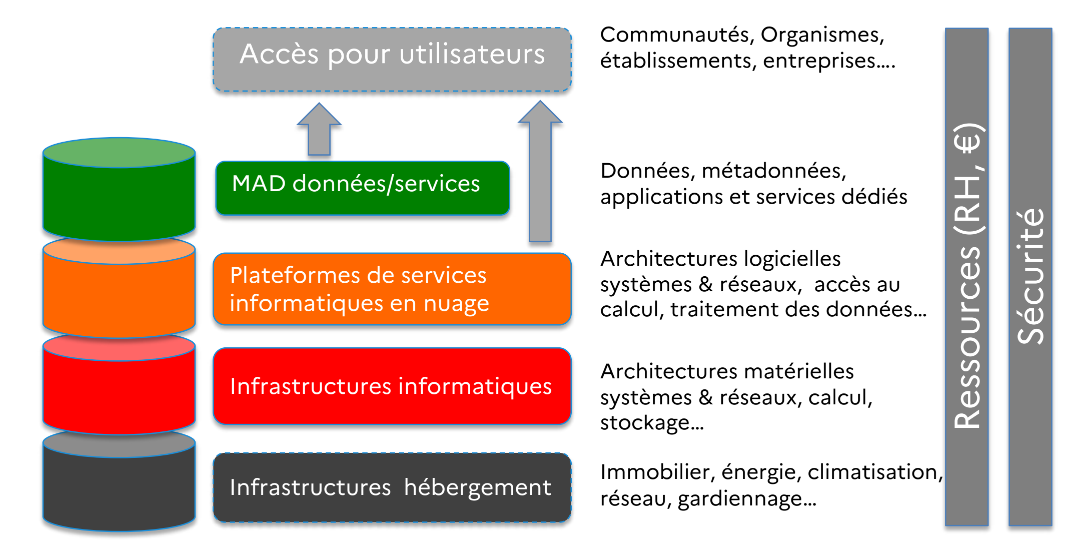


Figure 1 : Représentation schématique des différentes couches de service des infrastructures numériques ou E. Infrastructures

de recherche. C'est le cas pour **RENATER et GENCI**, qui constituent toutes les deux les composantes françaises d'une infrastructure européenne, respectivement GEANT et PRACE (Landmarks ESFRI). Le **CC-IN2P3, France Grilles et le CINES** font aussi partie de cette catégorie des e-Infrastructures. Ces infrastructures participent à la transformation numérique qui les impacte directement, fait évoluer leur positionnement et peut imposer dans certains cas l'évolution de leurs missions. L'importance du numérique dans le paysage national avec des projets et des initiatives majeures aux échelles nationale, européenne voire internationale justifie leur inscription sur la feuille de route en tant que IR.

POSITIONNEMENT DES CINQ E-INFRASTRUCTURES

L'infrastructure **RENATER** apporte une offre de communication numérique, sécurisée à haut débit, à l'ensemble des établissements et des communautés de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, ainsi que l'interconnexion aux réseaux européens et mondiaux. Elle apporte également une offre de services numériques, socles d'outils souverains de communication et d'échanges d'informations sécurisés.

L'infrastructure **GENCI** apporte une offre de calcul à haute performance grâce à la participation de trois grands centres de calcul nationaux du CNRS, du CEA et de l'Enseignement Supérieur : l'IDRIS, le TGCC et le CINES. Depuis 5 ans son offre est élargie au stockage des données computationnelles, ainsi **GENCI** s'inscrit pleinement dans le monde des données massives. **GENCI** assure le renouvellement des moyens de calcul du TGCC qui sont ouverts à la collaboration européenne PRACE, prolongeant l'engagement français

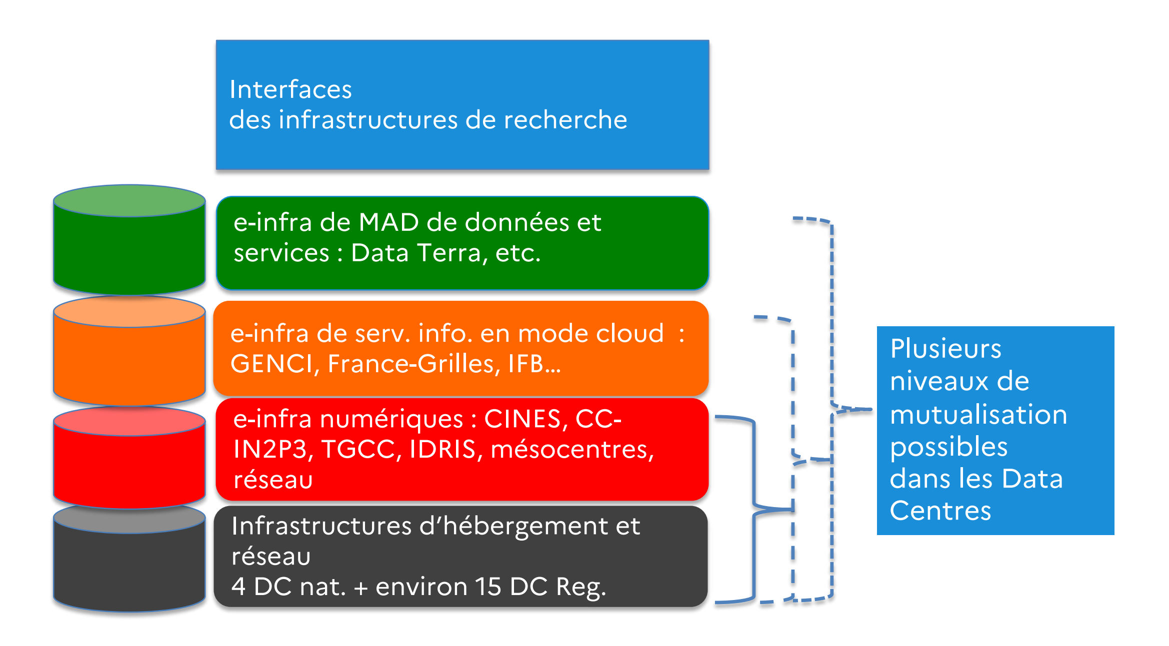


Figure 2 : Mutualisation des moyens numériques des infrastructures de recherche



dans ce projet, et prépare l'engagement français au sein de la structure EuroHPC.

Le CC-IN2P3, le CINES (hors de sa mission calcul inscrite dans le giron de GENCI) et France Grilles, à divers degrés de mutualisation, apportent une offre d'hébergement et de services numériques distribués et permettent le traitement et le partage de grands volumes de données. Les services numériques accompagnent la gestion des données tout au long de leur cycle de vie, de leur création à leur conservation. Le CC-IN2P3 est spécialisé dans le stockage et le traitement massif de données en provenance du LHC, mais il s'ouvre à d'autres grands instruments, comme le télescope LSST. France Grilles développe et offre des services en mode grille et cloud à des centaines d'utilisateurs de différentes communautés (notamment les utilisateurs de la longue traine de la science). France Grilles est le nœud français de l'infrastructure européenne EGI (European Grid Infrastructure). Ces acteurs ont un rôle incontournable pour la France dans le paysage numérique européen, et constituent le noyau des infrastructures de services à la donnée.

Toutes ces infrastructures sont parties prenantes du partenariat EOSC (European Open Science Cloud).

RENATER - RÉSEAU NATIONAL DE TÉLÉCOMMUNICATIONS POUR LA TECHNOLOGIE L'ENSEIGNEMENT ET LA RECHERCHE (IR*)

Le Groupement d'Intérêt Public (GIP) RENATER assure une connectivité nationale et internationale à plus de 1 400 sites d'enseignement et de recherche en France métropolitaine et dans les collectivités et territoires d'Outre-mer. RENATER est le Nœud National du Réseau Européen de la Recherche (NREN- français) et à ce titre est connecté au réseau pan-européen GÉANT. L'ESRI s'appuie sur RENATER pour déployer un socle de services et d'infrastructures réseau mutualisés au niveau national. RENATER doit fournir en priorité un réseau fiable, performant et stable pour l'ensemble de la communauté ESRI.

L'activité de RENATER est répartie sur plusieurs axes :

- un axe réseau allant de l'évolution de l'architecture du réseau et son maintien en conditions opérationnelles, jusqu'à l'interconnexion avec les réseaux internationaux dans le cadre de GEANT en passant par la coordination des réseaux régionaux et métropolitains ;
- un axe services réseaux dédiés pour des infrastructures de recherche (LHC, REFIMEVE, SILECS) ; et des usages spécifiques (VPN-établissements, RIE, ITER) ;
- un axe services numériques mutualisés composé de services collaboratifs et de communication sécurisés ;
- un axe sécurité : veille sécuritaire, gestion de certificats de sécurité et de noms de domaines ;
- un axe développement et intégration de services ; RENATER contribue de façon importante au développement de logiciels libres.

Défis à venir et perspectives

RENATER a un rôle incontournable et stratégique pour la sphère ESRI et au-delà.

RENATER joue un rôle moteur dans le développement de services socles, tels que la fédération d'identité qui permet en France et en Europe d'utiliser des services d'identification sécurisés, le service de connexion mobile « eduroam » et des outils communication, de partage d'informations et de travail collaboratif.

Il est essentiel de préserver l'activité de RENATER sur ce qui relève de son cœur de métier (réseau, sécurité, services

de communication) tout en consolidant progressivement ses missions en cohérence avec ses compétences et son positionnement dans le paysage numérique ESRI français et européen (GEANT/EOSC/EuroHPC). Il convient de s'assurer de la soutenabilité, de l'efficience de l'organisation en place, tout en maîtrisant la croissance des effectifs au bon niveau, et pour cela de bien partager les ambitions et les priorités entre les membres du GIP.

GENCI - GRAND ÉQUIPEMENT NATIONAL DE CALCUL INTENSIF (IR*)

GENCI assure un rôle de Maîtrise d'Ouvrage nationale pour le calcul intensif et le stockage de données computationnelles pour la recherche (académique & industrielle). À ce titre, GENCI est responsable de l'attribution des heures de calcul sur la base de l'excellence scientifique.

La puissance de calcul actuelle agrégée des 3 supercalculateurs nationaux de niveau Tier1 (IDRIS, TGCC et CINES) est de 50 Pflop/s. En 2020 les moyens GENCI ont permis de distribuer plus de 2 milliards d'heures de calcul à 1 000 projets de recherche ouverte, dont 400 en IA. À noter que 9 % de ces projets disposaient d'un soutien industriel.

Au niveau européen, GENCI est le représentant français de PRACE, dont font partie 26 pays membres, et qui concerne 7 calculateurs de niveau Tier0. Il participe à la structuration et à la mise en œuvre de la pyramide de calcul au niveau national et européen. GENCI participe également à l'initiative EuroHPC, en particulier au Governing Board, dont il est le Technical Advisor pour la France.

GENCI participe à la coordination des mésocentres régionaux et universitaires qui déploient des calculateurs de niveau Tier2. Ainsi, dans la continuité du projet EquipEx « Equip@meso » du PIA2 (2011-2020), GENCI a coordonné la réponse à l'AMI EquipEx+ du projet MesoNET. Ce projet, regroupe 22 partenaires, son objectif est de préfigurer une infrastructure nationale en lien avec les acteurs en région.

GENCI est associé au projet FITS déposé par le CNRS à l'AMI EquipEx+ pour développer une offre de calcul et de traitement des données en s'appuyant sur les compétences complémentaires du CC-IN2P3 et de l'IDRIS, reliés par un réseau à très haut débit (100 Gb/s) et un stockage distribué entre les deux centres.

Défis à venir et perspectives

L'activité de GENCI, encadrée par un plan stratégique, s'articule autour des besoins données-calcul et réseaux, et du renouvellement des équipements de calcul et de stockage. Ce plan vise aussi à contribuer à la compétitivité économique des industriels français et veut promouvoir la simulation numérique.

Les moyens de calcul : HPC, HPDA et IA sont des enjeux majeurs pour la science, l'innovation et l'aide à la décision. Les moyens déployés par GENCI sont soutenus par les stratégies nationales en IA (extension de la partition IA de Jean Zay à l'IDRIS), et en technologies quantiques (hébergement de la Plateforme Nationale de Calcul Quantique PNCQH au TGCC). Le réseau est crucial pour les centres de calcul : une étude avec RENATER pour une boucle à 100 Gb/s entre les 3 centres est en cours ainsi que l'étude de liaisons à 400 Gb/s pour l'exascale, dans le cadre EuroHPC.

Contexte EuroHPC

La compétition internationale est forte autour des machines exascale (Japon, Chine, USA). Face à cette compétition, la réponse européenne s'est organisée avec l'Entreprise Commune (Joint Undertaking) EuroHPC, créée en 2018. Les membres de la JU EuroHPC sont la Commission Européenne



et 32 états-membres, auxquels s'ajoutent deux membres privés : les associations ETP4HPC et BDVA. Le budget de la 2e phase (2021-2027) est de 3 Md€. La JU a pour mission principale de mettre en place une infrastructure HPC/data de classe mondiale et de soutenir la R&I nécessaire en incluant les aspects formation, dissémination, soutien aux applications.

Dans sa deuxième phase EuroHPC prévoit d'acquérir deux supercalculateurs exascale, dont un assemblé à partir des technologies européennes qui auront été financées par le programme R&I les années précédentes. C'est dans ce cadre que GENCI prévoit de se porter candidate à l'acquisition et l'opération d'un supercalculateur exascale à l'horizon 2023-2024 si les conditions budgétaires lui permettant de s'engager au nom de l'État français sont bien remplies. Dans ce contexte, GENCI serait « Hosting Entity » en partenariat avec le CEA/TGCC, « Hosting site » français. Ce projet s'accompagne d'une étude présentant des cas d'usages motivants le besoin « exascale » et d'une étude d'impact socio-économique.

CC-IN2P3 – CENTRE DE CALCUL DE L'IN2P3 (IR)

Le CC-IN2P3 est une Unité d'Appui et de Recherche du CNRS dont le cœur d'activité est de délivrer des services numériques pour les besoins des infrastructures et expériences de recherche dans le domaine de la physique des particules, de la physique nucléaire et des astro-particules.

Au niveau national, les services du CC-IN2P3 sont fournis à environ 100 groupes d'expériences via 4 000 comptes utilisateurs, et notamment :

- à l'IN2P3 institut du CNRS ;
- à l'IRFU (Direction de la Recherche Fondamentale du CEA), Laboratoire impliqué dans le domaine PNHE, dans une logique de prestation de service et via une convention ;
- à une vingtaine de groupes issus des communautés bio-informatique, chimie, SHS, écologie qui utilisent 3 à 4 % des moyens de calcul et stockage.

Au niveau européen et international : le CC-IN2P3 est un des 14 Tier-1 du réseau mondial de collaboration internationale WLCG pour le calcul lié au LHC au CERN. L'engagement français fixe l'objectif au CC-IN2P3 de fournir 10 % des ressources mondiales nécessaires au traitement des données du LHC. Plus de 70 expériences internationales impliquent l'IN2P3, notamment celles liées aux infrastructures PNHE : CERN-LHC, CTA, DUNE, EGO-VIRGO, GANIL-SPIRAL2, HESS, JUNO, KM3NeT, LSST.

Les services numériques mis en œuvre par le CC-IN2P3 sont :

- des moyens de calcul à haut débit – petite fermes HPC et GPU –. La puissance de calcul disponible actuelle est équivalente à 500 Tflop/s ;
- des moyens de stockage de données sur disques (43 Po) et sur bandes magnétiques (> 100 Po) ;
- des services d'hébergement sec : IRT BioAster et IR portées par le CNRS (Huma-Num, HAL et CCSD) et des services de maîtrise d'ouvrage pour la connexion des laboratoires de l'IN2P3 ;
- des services de gestion des données : le CC-IN2P3 a mis en place un Plan de Gestion des données et mène des travaux sur gestion de la conservation (données vivantes) ;
- le CC-IN2P3 propose un stockage longue durée pour environ 10 Po. 10 % des données stockées nécessitent un archivage pérenne qui se fait en lien avec le CINES. On peut noter que la sauvegarde distante de l'archivage pérenne du CINES est hébergée au CC-IN2P3.

L'équipe du CC-IN2P3 travaille en réseau avec les équipes similaires dans les

laboratoires de l'IN2P3 et du domaine PNHE à l'international. Elle conduit des travaux de recherche en informatique sur la simulation d'applications distribuées (notamment en lien avec l'IR SILECS, la structuration des données pour les physiciens…).

Défis à venir et perspectives

Le CC-IN2P3 doit faire face à des masses considérables de données à gérer et distribuer sur le réseau mondial qui nécessitent l'accès à de la puissance de calcul complémentaire, une augmentation de la capacité réseau, le tout dans un cadre maîtrisé de ses coûts. Une croissance exponentielle en besoin de calcul et de stockage essentiellement due à la montée en puissance du LHC est attendue d'ici 10 ans avec des volumes de stockage s'exprimant en exa-octets. Les besoins en terme de capacité réseau allant quant à eux vers 1 Tb/s.

Le projet EquipEx+ FITS, porté par le CC-IN2P3 et dont GENCI est partenaire, permettra de mettre en place des solutions de stockage et calcul, répartis entre le CC-IN2P3 et l'IDRIS, utilisables de manière transparente. Un premier cas d'usage concerne SOLEIL qui renonce à disposer de ses propres infrastructures numériques et apportera un financement à ce projet. CC-IN2P3 et IDRIS sont reliés par une liaison RENATER dédiée à 100 Gb/s.

FITS pourrait être un composant de EOSC-France. Le CC-IN2P3 poursuit son implication dans des projets européens comme EOSC, avec le CNRS qui est membre de l'AISBL dans le cadre des partenariats du programme Horizon Europe.

CINES – CENTRE INFORMATIQUE NATIONAL DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR – (IR)

Le CINES propose des services :

- de calcul haute performance (3 milliards d'heures demandées sur les 9 appels GENCI pour 2,5 milliards d'heures attribuées depuis 2017) ;
- d'archivage pérenne de données et documents numériques (le CINES a l'agrément CIAF) ;
- d'hébergement sec de plates-formes informatiques.

Le CINES est spécifiquement inscrit sur la feuille de route pour ses activités hébergement, services et conservation des données. L'activité CINES-Calcul est rattachée à l'Infrastructure GENCI.

L'archivage et la conservation des données sur le temps long constituent la mission spécifique du CINES pour l'ESRI. Le CINES développe des compétences et des solutions spécifiques (plateforme PAC…) pour ce service de conservation de long terme et assure une veille technologique dans ce domaine. Le CINES archive notamment toutes les thèses soutenues en France et les données issues de l'IR HAL et de l'IR* Huma-Num. Il offre un service d'archivage intermédiaire et un service d'archivage pérenne. En 2021 la plateforme PAC a basculé sur VITAM (backoffice fonctionnant sous la forme de micro-services).

Le CINES propose aussi un service d'hébergement sec, c'est l'un des 4 Datacenters nationaux de l'ESRI.

L'hébergement concerne 15 organismes (CNRS, INRAE, INSERM…), qui hébergent une partie de leurs moyens numériques au CINES, ce qui représente un volume de 100 baies au 1er trimestre 2021. Le CINES héberge aussi des moyens numériques d'acteurs régionaux (DSI de l'université de Montpellier, cluster MUSE (330 TF) de Meso@LR, ou encore le cluster HPC de la Fédération Balard (chimie…).

Défis à venir et perspectives

Le CINES a une mission d'archivage qui constitue sa spécificité au niveau national.



Les volumes concernés aujourd'hui par l'archivage pérenne sont relativement faibles. L'archivage pérenne de toutes les données de recherche risque vite d'engendrer des volumes considérables, ce qui impose de conduire une politique d'archivage soutenable. Le passage à la solution VITAM pour l'archivage est coordonné avec l'ensemble des ministères concernés et est un projet majeur.

Le CINES renforce son dispositif pour répondre aux exigences de sécurité et d'habilitations notamment hébergement des données de santé. L'infrastructure France-Cohortes de l'INSERM et les données du Plan France Médecine Génomique 2025 sont hébergées au CINES. Le CAD (Collecteur Analyseur de Données) dont la préfiguration est en cours se déploiera en s'appuyant sur le CINES et le TGCC.

Il est partenaire des infrastructures de données DATA-TERRA et Huma-Num et est membre de l'AISBL EOSC et il participe dans le cadre d'Horizon Europe au projet EOSC-Pillar. Il est coordinateur du projet européen PHIDIAS (Prototype HPC / infrastructure de données pour services à la demande). La plateforme d'archivage CINES figure sur la *marketplace* EOSC.

Le développement de services aux données, pour lesquels le CINES démontré savoir-faire et dynamisme a une importance stratégique.

FRANCE GRILLES (IR)

Le GIS France Grilles permet l'accès à une infrastructure nationale distribuée ouverte à toutes les communautés de recherche et représente la France dans EGI (*European Grid Infrastructure*).

Créé à l'origine autour des partenaires européens du CERN pour développer une offre de calcul distribuée à travers le monde, la grille représente encore la majorité de l'activité de l'Infrastructure. Les partenaires du GIS peuvent accéder à une ressource globale de 1 million de cœurs et 250 Po de stockage. 1,3 milliards d'heures de calcul ont été moissonnées par les utilisateurs Français depuis 2014.

France Grilles a étendu son activité à la construction d'une fédération de cloud académique et fournit un accès à des moyens numériques distribués. Son offre cloud est dédiée au calcul scientifique. Elle est interconnectée au cloud IFB et au cloud EGI et basée sur des technologies et des standards ouverts. France Grilles propose un catalogue complet de services pour l'analyse, le traitement et la gestion des données scientifiques dédié au calcul scientifique et aux portails scientifiques en ligne.

Le cloud France Grilles est réparti sur 7 sites en France, tous intégrés dans le cloud EGI. La France est un des 4 fournisseurs d'EGI. (37 millions d'heures CPU ont été consommées en 2020). France Grilles anime une communauté d'experts. On note une prédominance de la communauté de la physique des particules mais aussi l'ouverture à d'autres communautés. On dénombre plus de mille utilisateurs du Cloud académique, plus de 500 pour la Grille et plus de 1000 utilisateurs au travers de portails ou laboratoires virtuels. France Grilles est impliquée dans les projets Européens EOSC et France Life Imaging.

Défis à venir et perspectives

France Grilles est impliqué dans les projets EquipEx+ : FITS (services numériques fédérés pour les infrastructures de recherche); TERRA FORMA (observation intelligente des territoires); GAIA DATA (infrastructure distribuée de données du système Terre, de la biodiversité et de l'environnement) et MuDiS4LS (données FAIR en biologie).

France Grilles a une expérience de 10 ans dans le cloud et des compétences socles qui sont nécessaires pour la construction de EOSC-France, dispose d'outils

opérationnels, et connait et anime les réseaux humains et les communautés scientifiques précurseurs de ces usages. Le besoin d'un Cloud de calcul et de traitement de données, en prolongement des offres HPC est aujourd'hui bien exprimé, et France Grilles a un rôle à jouer dans ce domaine.

L'IR France Grilles a démontré de façon très convaincante le rôle qu'elle a joué dans la construction d'une grille et d'un cloud national de production pour la recherche. Ses compétences et son action d'animation sont largement appréciées par la communauté scientifique. Son avenir passe par une réflexion sur son évolution qui doit clarifier son positionnement dans le paysage national EOSC en cours de construction, pour lequel ses compétences seront appréciables.

LES ORIENTATIONS NUMÉRIQUES POUR LES 5 PROCHAINES ANNÉES

L'accélération des usages numériques concerne tous les acteurs de l'ESRI. Elle s'accompagne de l'émergence de nouveaux services en nuage, d'une évolution constante des outils numériques, du besoin croissant de moyens de calcul de plus en plus performants, et d'un volume croissant de données générées, traitées et diffusées (données personnelles, données pour/de la recherche, publications et données associées…). Les infrastructures de recherche sont particulièrement concernées par l'usage du numérique (25% de leurs investissements, 4 à 5% de leurs coûts de fonctionnement).

Pour les couches de service les plus basses, une démarche de labellisation des data centres en région a été conduite, visant à favoriser la mise en commun d'infrastructures d'hébergement sécurisés, à l'état de l'art, en complément des centres nationaux TGCC, CC-IN2P3, CINES et IDRIS. L'ensemble devra être interconnecté par un réseau à haut débit, véritable colonne vertébrale des infrastructures et de services numériques de l'ESRI. Ce réseau de Datacenters nationaux et dans les régions a vocation à être le socle de base d'hébergement des infrastructures de recherche.

Le besoin est aujourd'hui de développer les couches de services, en continuant à consolider des services de calcul intégrés entre HPC, IA et Cloud, mais également de mutualiser les services centrés autour des données, aujourd'hui souvent construits par communauté et trop dispersés.

L'ESRI a engagé une stratégie visant à consolider l'hébergement des applications, des équipements et des données gérées par ses établissements et ses communautés. Ce système fédéré s'appuie en complément sur des offres commerciales de confiance. Cette évolution doit permettre de construire la composante française des moyens numériques de l'ESRI dans le contexte européen (EuroHPC, EOSC, projets ESFRI, etc.) et international dont les orientations de développement soutenu dans le domaine du numérique sont forcément dimensionnant pour le niveau national.

Plusieurs IR se sont d'ores et déjà engagées dans cette approche notamment dans le cadre du récent appel à projets PIA3 EquipEx+ dont un volet a été spécialement dédié aux Services et Infrastructures Numériques permettant de construire des infrastructures et des services numériques partagés, consolidés, souverains, écoresponsables.

Le principal risque dans le domaine du numérique est le sous-investissement, amplifié par l'éparpillement de son déploiement et ses modalités de financement : le réseau, les moyens de calcul et de traitement de données, les outils collaboratifs au service des communautés doivent continuer à se développer à un rythme soutenu, avec à chaque niveau un bon niveau de mutualisation et de rationalisation



qui permet de maximiser l'efficacité des efforts consentis et la soutenabilité globale de l'usage du numérique.

La transformation numérique doit aussi s'appuyer sur une évolution des compétences des équipes de soutien et support et des utilisateurs. L'évolution des compétences doit permettre de déployer des services numériques de qualité et développés sur des technologies récentes, sûres et compétitives. Il convient aussi d'accompagner l'émergence de nouveaux métiers pour permettre à la recherche française d'utiliser les technologies les plus récentes, de bénéficier de la masse de données à sa disposition et de développer les applications les plus avancées dans chacun des domaines pour rester un acteur majeur et reconnu en Europe et au-delà.

La participation aux structures et projets européens et internationaux (GEANT, EuroHPC, EOSC…) dans le domaine du numérique, ou communautaires mais avec des besoins numériques importants (LHC, SKA, EMBL, EBRAINS…) suppose un niveau de coordination national qui nécessite un soutien institutionnel et une adhésion des communautés.



GENCI

Grand Équipement National de Calcul Intensif

GENCI est une société civile détenue à 49 % par l'État représenté par le ministère en charge de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, 20 % par le CEA, 20 % par le CNRS, 10 % par les Universités représentées par la Conférence des Présidents d'Université et 1 % par Inria.

GENCI répond aux missions suivantes :

– participation à la définition et prise en charge de la mise en œuvre de la politique nationale en matière de simulation numérique par calcul intensif et stockage/traitement de données massives associé aux techniques de l'intelligence artificielle ;
– maîtrise d'ouvrage des équipements constitutifs des principales infrastructures de calcul intensif, et de traitement et stockage de données massives ;
– promotion de l'utilisation de la modélisation, de la simulation et du calcul intensif dans la recherche fondamentale et dans la recherche industrielle ;
– participation à la réalisation des initiatives européennes de développement d'infrastructures numériques de calcul intensif et de traitement de données massives pour la recherche ;
– animation de la veille technologique menée avec les équipes d'experts de ses associés ;
– ouverture de ses équipements à toutes les communautés scientifiques intéressées, académiques ou industrielles, nationales, européennes ou internationales ;
– participation à la promotion de l'accès des PME nationales aux moyens de calcul intensif.


© CINES

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

GENCI donne accès à ses moyens aux industriels pour la recherche ouverte et pilote le programme SiMSEO qui accompagne les TPE, PME et ETI vers l'usage de la simulation numérique en donnant accès à une expertise et à des heures de calcul sur des mesocentres régionaux. GENCI a intégré le National Competence Center piloté par Teratec et le Cerfacs, déclinaison nationale du projet européen à destination des industriels.

Science ouverte et données

- Production annuelle de données : 50 Po
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Localisation des autres sites (en France) : Bruyères-le-Châtel, Montpellier, Orsay
Établissement(s) français porteur(s) : CEA, CNRS, Inria, France Universités, MESRI

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Philippe Lavocat
Année de création : 2007
Année d'exploitation : 2007
Site web : www.genci.fr

Dimension internationale

PRACE, ESFRI landmark

Pays partenaires : DE, BE, BG, CY, DK, ES, FI, GR, HU, IE, IL, IT, LU, NO, NL, PL, CZ, UK, SK, SI, SE, CH, TR, AT, FR, IE
Site internet : www.prace-ri.eu

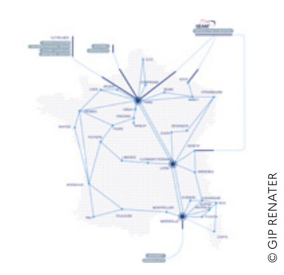


RENATER

Groupement d'intérêt public pour le réseau national de communications électroniques pour la technologie, l'enseignement et la recherche

Le Groupement d'intérêt public pour le réseau national de communications électroniques pour la technologie, l'enseignement et la recherche a pour objet :

– de fournir aux acteurs de la Communauté recherche et éducation les moyens de communication numérique haut débit et de gestion des données liées en France (métropolitaine, dans les ROM et dans les COM) sur la base de réseaux, d'infrastructures et de services;
– d'assurer que l'ensemble de ces moyens sont sécurisés;
– d'assurer l'interconnexion aux réseaux de recherche et éducation mondiaux;
– d'assurer les travaux des équipes en réseau et de répondre aux besoins avancés et innovants de la Communauté recherche et éducation;
– d'assurer une mission de conseil, d'expertise, de fournir des moyens ou des services de communication dans ses domaines de compétence auprès de l'État et d'autres entités publiques français ou étrangers, dans la mesure où cela n'impose pas au Groupement des obligations incompatibles avec sa mission de fourniture de services à la Communauté recherche et éducation.



© GIP RENATER

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Participe à la transformation numérique de l'ESRI. Support à l'Innovation et excellence de l'ESRI.

Relations avec le monde industriel au travers d'achats selon les règles des marchés publics.

Soutien à la dynamique de développement socioéconomique des territoires par leur accès facilité à l'éducation du primaire au supérieur, à la recherche, et à l'innovation à l'échelle nationale et internationale

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://sourcesup.renater.fr
- Production annuelle de données : 10 To

Catégorie : IR*
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Localisation des autres sites (en France) : Cesson-Sévigné, Montferrier-sur-Lez, Saint-Martin-d'Hères
Établissement(s) français porteur(s) : MESRI, France Universités, CNRS, CEA, Inria, CNES, INRAE, Inserm, Onera, Cirad, IRD, et BRGM

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Jean Narvaez (par intérim)
Année de création : 1993
Année d'exploitation : 1993
Contact en France : https://services.renater.fr
Site web : www.renater.fr

Dimension internationale

GÉANT

Pays partenaires : voir liste en remarques
Site internet : www.geant.org



CC-IN2P3

Centre de Calcul de l'IN2P3

Le Centre de Calcul de l'IN2P3 (CC-IN2P3) qui est situé à Lyon, dispose de 70 personnels CNRS permanents. Il fournit les ressources informatiques pour les expériences de physique nucléaire et de physique des particules en proposant le transport, le stockage et le traitement d'énormes quantités de données. Il est un des 13 grands centres de premier niveau de la grille de calcul mondiale, le projet Worldwide LHC Computing Grid (W-LCG) coordonné par le CERN. Environ 70 % des ressources du CC-IN2P3 sont ainsi utilisées pour le traitement des données et les simulations du LHC. En finançant les ressources qui leur sont nécessaires, les collaborations internationales dans le domaine des astroparticules et cosmologie peuvent également bénéficier des moyens du CC-IN2P3. Depuis 2021, le CC-IN2P3 est ainsi l'un des deux grands centres de traitement des données du projet LSST et disposera d'un jeu complet de données, donnant un avantage majeur aux équipes du CNRS. Il sera également le principal élément du segment sol



français de la mission spatiale européenne EUCLID. Parmi les collaborations scientifiques internationales qui utilisent les services du CC-IN2P3 on trouve aussi le GANIL, EGO, LSST, HESS, CTA, PAO, JUNO et KM3NeT, toutes figurant sur la feuille de route nationale des IR ou sur celle de l'ESFRI. La phase Haute-Luminosité du LHC (2027-2038) sera l'enjeu majeur pour le CC-IN2P3 puisqu'il s'agira de fournir des capacités 100 fois supérieures.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Partenariat avec le constructeur Dell/EMC qui souhaite contribuer, au côté du CC-IN2P3, à une démarche d'accompagnement autour des solutions de traitement massif de données et des moyens de calcul dans un cadre scientifique.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://gitlab.in2p3.fr
- Production annuelle de données : 15 Po

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Villeurbanne
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Pierre-Etienne Macchi
Année de création : 1986
Année d'exploitation : 1986
Tutelles/Partenaires : CNRS
Contact en France : contact@cc.in2p3.fr
Site web : https://cc.in2p3.fr

Dimension internationale

W-LCG

Pays partenaires : Plus de 40
Site internet : http://wlcg.web.cern.ch



CINES

CENTRE INFORMATIQUE NATIONAL DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

Le Centre Informatique National de l'Enseignement Supérieur (CINES) est un Établissement Public Administratif (EPA) situé à Montpellier et placé sous la tutelle du MESRI. Bénéficiant d'accès réseaux très performants (nœud régional RENATER), il met à disposition des moyens informatiques de pointe à travers ses trois missions statutaires nationales dans :

– le calcul numérique intensif : le CINES héberge le supercalculateur Adastra pour le compte de la TGIR GENCI, qui est utilisé par 1 500 chercheurs dans le cadre de 300 projets de recherche. Il exploite à la fois le supercalculateur d'un point de vue système, mais aussi du support de ses utilisateurs via une équipe dédiée d'ingénieurs en calcul intensif ;
– l'archivage pérenne de données numériques : le CINES est le centre d'archivage de l'ESRI, via un agrément du Service Interministériel des Archives de France (SIAF), et une vingtaine d'établissements y archivent leurs documents électroniques dont l'archive ouverte pluridisciplinaire HAL du CCSD du CNRS ;



© CINES

– l'hébergement de plateformes informatiques d'envergure nationale et régionale : le CINES héberge en 2021 120 baies informatiques pour le compte de 18 établissements de l'ESR, via son service d'hébergeur « sec » (mise à disposition de l'infrastructure d'accueil en mode IaaS).

Ces trois missions en synergie permettent à l'IR CINES de proposer un catalogue de services FAIR pour stocker, traiter, diffuser et si nécessaire archiver les données de la recherche.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les services hébergement et archivage du CINES sont ouverts en priorité aux établissements publics de l'ESRI et du MENJ, dans le cadre de prestations de service. Le supercalculateur Adastra est lui ouvert via des appels à projets organisés par GENCI, pour la recherche publique mais aussi privée avec obligation de publication des résultats.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://gitlab.cines.fr
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Montpellier
Établissement(s) français porteur(s) : MESRI, France Universités

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Boris Dintrans
Année de création : 1999
Année d'exploitation : 1999
Tutelles/Partenaires : GENCI, SIAF, Inserm, CNRS, IRD, Abes, INRAE
Site web : www.cines.fr



France Grilles

France Grilles

France Grilles est une infrastructure de recherche pluridisciplinaire, labellisée depuis 2010 sur la feuille de route du MESRI, qui rassemble les principaux acteurs de la recherche publique française (CEA, CNRS, France Universités, INRAE, INRIA, INSERM) ainsi que RENATER au sein d'un Groupement d'Intérêt Scientifique. Elle travaille en étroite collaboration avec les infrastructures de recherche thématiques auxquelles elle fournit des services distribués de calcul (grille et cloud) et de stockage ainsi qu'un soutien technique.

Elle développe des services spécifiques, indispensables à l'exploitation des données partagées et permet aux chercheurs d'utiliser ces ressources distribuées de calcul et de stockage. Représentant la France au conseil de l'e-Infrastructure européenne EGI, France Grilles offre aujourd'hui à ses 3 000 utilisateurs l'accès à une ressource globale d'un million de cœurs et 250 pétaoctets de stockage. Elle est devenue un élément essentiel de la transformation numérique en France, opérant 22 000 cœurs distribués via une infrastructure de cloud sur onze sites en France métropolitaine.



© V. Breton - J. Pansanel - G. Romier

L'offre de service proposée par France Grilles vient en soutien au déploiement de la science ouverte, pour faciliter la gestion, le stockage et l'analyse de grands volumes de données, que ce soit directement sur les infrastructures ou à travers des environnements virtuels de recherche. Ces activités permettent également à France Grilles de participer activement au European Open Science Cloud.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Tout en opérant et développant son infrastructure informatique pour la recherche académique française, France Grilles propose ses services à l'ensemble des acteurs pour réaliser la vision de la science ouverte à tous dans la déclinaison française de l'Espace Européen de la Recherche. Ses relations avec le monde socio-économique s'inscrivent dans ce cadre, en collaboration avec ses partenaires européens dans EGI.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/FranceGrilles

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Localisation des autres sites (en France) : Annecy-le-Vieux, Aubière, Bures-sur-Yvette, Castanet-Tolosan, Grenoble, Jouy-en-Josas, Marseille, Montpellier, Nantes, Palaiseau, Paris, Paris 13e, Paris 14e, Saint-Aubin, Saint-Martin-d'Hères, Schiltigheim, Talence, Toulouse, Villeneuve-d'Ascq, Villeurbanne
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Vincent Jacques Breton
Année de création : 2010
Année d'exploitation : 2010
Tutelles/Partenaires : CEA, France Universités, INRAE, Inria, Inserm, MESRI, RENATER
Contact en France : info@france-grilles.fr
Site web : www.france-grilles.fr

Dimension internationale

EGI

Pays partenaires : FR, IT, ES, DE, UK, NL, PT, BE, BG, HR, CZ, EE, GR, MK, PL, RO, SK, CH, TR, HU, AT
Site internet : www.egi.eu

Les infrastructures de recherche en information scientifique



LES FONCTIONS PRINCIPALES DE L'INFORMATION SCIENTIFIQUE

Les infrastructures de l'information scientifique sont **des infrastructures de la connaissance** car elles favorisent la transformation des données en informations, et des informations en connaissances. Les infrastructures de l'information scientifique mettent à disposition des outils, des services et des compétences qui répondent aux besoins d'information scientifique tout au long de la chaîne de production des connaissances, c'est-à-dire tout au long du cycle de vie de la recherche, jusqu'aux usagers et publics de celles-ci. Les fonctions de l'information scientifique permettent d'articuler autour des chercheurs plusieurs flux de contenus et de services au cours de l'activité scientifique. Il s'agit notamment d'alimenter les chercheurs en contenus scientifiques dont ils ont besoin pour produire leurs recherches, mais aussi de leur permettre de mettre à la disposition des communautés scientifiques et des publics en général les résultats de leurs recherches. Cela dépasse de plus en plus le secteur historique des publications pour s'étendre aux objets qui permettent la construction de connaissances, données et logiciels/codes inclus ainsi que leurs réutilisations. Ces infrastructures assurent ou accompagnent tout ou partie des fonctions de l'information scientifique dans la recherche académique : 1) collecter et produire, 2) certifier, 3) structurer et interrelier, 4) maximiser l'impact et 5) inscrire dans la durée.

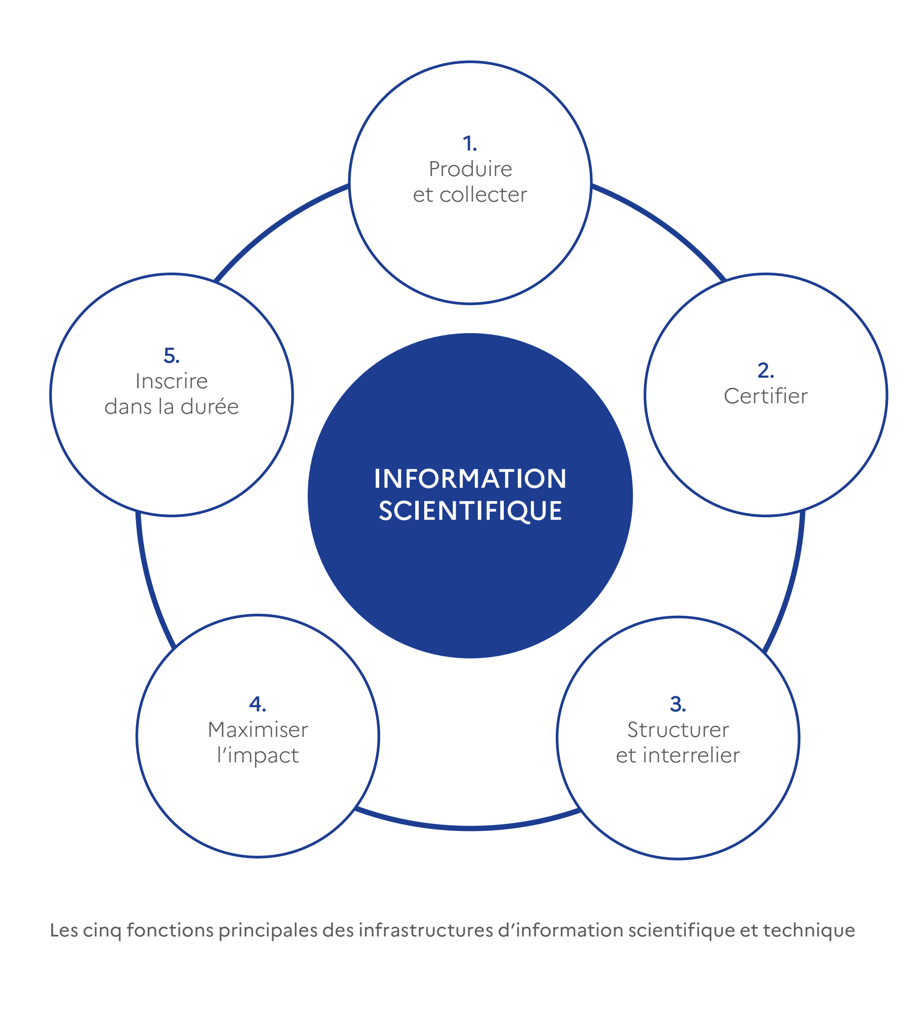
1. **Collecter et produire l'information scientifique** permet de favoriser la mobilisation des données par les chercheurs. Les chercheurs produisent en permanence des données, des logiciels et de la connaissance scientifique qu'ils peuvent confier aux infrastructures d'information scientifique et aux infrastructures par domaine thématique. Ils peuvent aussi s'appuyer sur ces infrastructures pour leur fournir des données qu'ils collectent en fonction de leurs besoins (*data discovery, literature review*). Les services de numérisation de fonds patrimoniaux ou de corpus de recherche produisent des données nouvelles (CollEx-Persée). Les plateformes de publication (OpenEdition Books), revues scientifiques (Persée, OpenEdition Journals, Episciences de HAL+) et archives ouvertes (HAL) favorisent l'accès à la littérature scientifique. Elles assurent une fonction fondamentale de publication et de diffusion des savoirs. Étant relativement autonomes du marché très concentré de l'édition scientifique et, bientôt, de celui des données scientifiques, les infrastructures de l'information scientifique constituent des piliers assurant une indépendance à la recherche publique, qui se doit de disposer de ses propres plateformes (ISTEX).
2. **Certifier l'information scientifique** est le cœur du travail de ce type d'infrastructures, car il assure la transparence et la validité à l'information. Ce processus passe par la qualification de l'information, et son évaluation par des moyens humains ou techniques, dont le plus connu est l'évaluation par les pairs. Les infrastructures fluidifient, rationalisent et font évoluer ces mécanismes essentiels de certification à travers des savoir-faire et des bonnes pratiques normalisées internationalement. Pour rendre cela possible à grande échelle et à des coûts abordables, les infrastructures d'information scientifique déploient des outils qui permettent d'organiser l'évaluation par les pairs (Episciences, ScienceConf relevant de HAL+). Elles développent aussi des services d'attribution de labels de qualité comme le Directory of open access books (DOAB relevant d'OpenEdition). Elles proposent enfin des plateformes qui favorisent la conversation scientifique et la communication entre pairs, en amont et en aval de la publication

elle-même (Calenda, Hypothèses, services d'OpenEdition), ces éléments étant essentiels au fonctionnement scientifique.

3. **Structurer et interrelier l'information scientifique** permet au chercheur d'organiser et de documenter ses résultats scientifiques. Le processus d'édition de documents scientifiques assure la sémantisation de l'information selon les règles établies et la normalisation des formes publiques des contenus (Métopes). La gestion des métadonnées et des identifiants (CollEx-Persée, HAL, ISTEX, OpenEdition) et la mise à disposition de référentiels permettent d'en normaliser la description afin de la rendre intelligible, comparable et classable. Les métadonnées permettent la citation et donc les liens entre les contenus, les données, le code, les objets de la recherche, ce qui facilite l'accès à l'information (Software Heritage et toutes les autres infrastructures).
4. **Maximiser l'impact scientifique** est un objectif et une fonction centrale qui recouvre des services de dissémination, de diffusion et de valorisation de l'information à travers de nombreuses actions : éditorialisation, signalement, référencement web, optimisation de la visibilité (SEO : *search engine optimisation*), mise aux normes d'accessibilité, etc. Il s'agit d'assurer l'accessibilité de l'information et des données pour un public scientifique le plus large et international possible (OpenEdition, CollEx-Persée, HAL+, Métopes, ISTEX, Software Heritage), mais aussi d'assurer une visibilité auprès d'autres publics : politiques publiques, secteur économique, médias, enseignants notamment (OpenEdition, HAL+). Cela passe par l'inscription de l'information dans un vaste écosystème, qui nécessite l'adoption de licences claires et d'identifiants uniques, sur la base de normes internationales. Enfin, maximiser l'impact nécessite le traitement de l'information par des outils de fouille (ISTEX) et de visualisation.
5. **Inscrire dans la durée :** l'information scientifique retire du modèle de la bibliothèque d'Alexandrie le besoin impérieux d'inscrire son action dans la durée. Les fonctions d'hébergement, de conservation et d'archivage de l'information scientifique permettent au chercheur de disposer d'un service de préservation et d'accès à ses résultats sûr et pérenne (OpenEdition, CollEx-Persée, HAL+, ISTEX, Software Heritage). Pour inscrire les infrastructures et leurs contenus dans la durée, un certain nombre de conditions doivent être réunies. Il s'agit d'abord de choix technologiques, par exemple la généralisation de formats sémantisés, l'hébergement dans des data center labellisés nationalement, l'archivage pérenne au CINES. Il s'agit ensuite de modèles organisationnels efficients, assurant un bon niveau de mutualisation et de mise à disposition de métiers hautement spécialisés. Il s'agit enfin de la mise en œuvre de modèles économiques pérennes, avec financement récurrent des tutelles, mais aussi d'autres modèles (modèle de cotisation pour HAL, modèle freemium pour OpenEdition…), selon le type d'activité.

UN LEVIER MAJEUR DU PLAN NATIONAL POUR LA SCIENCE OUVERTE. L'INFORMATION SCIENTIFIQUE SE DOIT D'ÊTRE OUVERTE OU AU MOINS PARTAGÉE

L'ouverture et la circulation de l'information scientifique comme le partage des données scientifiques sont des enjeux majeurs de la construction de la société de la connaissance. Produire et utiliser des données, évaluer, certifier et publier les résultats de la recherche, valider et assurer la reproductibilité des découvertes, communiquer et interagir



Les cinq fonctions principales des infrastructures d'information scientifique et technique

avec la société, le cycle de vie de la recherche est un enjeu fortement souligné lors de la pandémie du COVID 19. Cette crise montre la nécessité pour les acteurs privés et publics de fonder leurs décisions sur la recherche en train de se faire, et l'importance cruciale de l'accès ouvert aux publications de la recherche pour l'ensemble de la société. L'ouverture des données est également nécessaire, sauf quand elles sont sensibles ou soumises à des secrets. Dans ce cas, on parle de partage, qui permet un accès contrôlé aux informations sensibles.

Le code, qui est désormais sous-jacent à toute production de connaissances, ne peut être oublié : il est un instrument essentiel, qui dépasse très largement les *computer sciences* et couvre l'ensemble des disciplines. Il est en général hébergé dans des forges logicielles, qui sont très nombreuses et fragiles.

Software Heritage sécurise cet immense patrimoine informatique de l'humanité, qui n'a pas de limites scientifiques formelles, la porosité entre les logiciels non scientifiques et ceux développés au sein de la recherche étant totale, et permet aussi de produire de nouvelles connaissances.

Les infrastructures d'information scientifique ont vocation à être les premiers leviers et les fers de lance du Plan national pour la science ouverte. Elles portent ce principe fondamental qui considère la recherche scientifique comme un bien commun qui doit être partagé avec tous. Elles mettent en œuvre ce principe d'ouverture dans chacun de leurs services, de leurs outils, comme dans l'organisation de leur gouvernance. Elles ont été pensées et construites pour porter la dynamique de la science ouverte de manière transverse pour l'ensemble des disciplines. Elles sont donc des piliers de la science ouverte, même si elles peuvent encore améliorer la formalisation de leur politique de science ouverte, parfois trop implicite, et préciser leurs recommandations en matière d'utilisation de licences.

Les infrastructures d'information scientifique ne produisent pas toujours directement des données de recherche mais souvent des métadonnées et des couches additionnelles au-dessus des données, qui doivent être considérées elles-mêmes comme des données. Les publications, qui sont les objets historiques des infrastructures d'information scientifique, sont de fait traitées comme des données : elles sont modérées, enrichies par des métadonnées dont la qualité est garantie par la gestion de référentiels et d'identifiants. Le rôle du *data steward* peut donc se retrouver dans celui du modérateur et du contrôleur de qualité *via* les référentiels même si les métiers et compétences de la donnée pourraient être mieux identifiés et formalisés.

Des acteurs des principes FAIR : les cinq fonctions assumées par l'information scientifique nécessitent une grande maturité des processus de « Fairisation » de l'information scientifique, c'est-à-dire de transformation afin de la rendre **FAIR** : facile à trouver, accessible, interopérable et réutilisable.

De manière collective, ces infrastructures ont pour mission de constituer un écosystème cohérent, associant méthodes, données, codes et publications avec notamment des citations croisées entre l'ensemble de ces objets.

MATURITÉ ET DÉVELOPPEMENT NÉCESSAIRES DES INFRASTRUCTURES DE L'INFORMATION SCIENTIFIQUE : UN PAYSAGE DYNAMIQUE, COMPLÉMENTAIRE ET STRUCTURÉ

Des infrastructures majeures ayant atteint une taille critique en termes de volumes de contenus

Les infrastructures de l'information scientifique rassemblent aujourd'hui des volumes de contenus tels qu'elles sont devenues centrales et incontournables. Pour les logiciels et les codes, Software Heritage héberge 9,6 milliards de fichiers sources issus de 151 millions de projets. HAL+ diffuse en accès ouvert 865 000 documents scientifiques en texte intégral dont plus de 100 000 thèses venant de toutes les disciplines et héberge près de 9 000 conférences. OpenEdition regroupe sur ses différentes plateformes plus d'un million de documents scientifiques publiés, dont 96 % sont disponibles en accès ouvert. Ils se répartissent en 550 revues scientifiques, 10 000 livres électroniques, 6 000 carnets de recherche. Enfin, ISTEX donne accès à 23 millions de documents provenant de 30 corpus de littérature scientifique dans toutes les disciplines, soit plus de 9 314 revues et 348 636 livres électroniques publiés entre 1473 et 2019.

Un puissant vecteur de rayonnement international et de visibilité : des dizaines de milliers de producteurs, des dizaines de millions d'usagers

Les communautés scientifiques concernées par les services des infrastructures d'information scientifique sont très larges. En amont, celui des producteurs de contenus, HAL mobilise 72 000 utilisateurs actifs issus du monde de l'ESRI et OpenEdition près de 30 000, sélectionnés par un conseil scientifique. Software Heritage archive 150 millions de projets de code. Ce sont donc l'ensemble des communautés de l'ESRI, toutes disciplines confondues, qui sont usagers actifs de ces infrastructures. En aval, celui des utilisateurs, le succès est encore plus massif et, c'est notable, les plateformes rassemblent des publics bien au-delà de l'enseignement supérieur et de la recherche. En 2020, HAL comptabilise 11,8 millions de visites et l'ensemble des services d'OpenEdition compte 96 millions de visites. Les usagers se situent également au-delà de la communauté nationale et les infrastructures d'information scientifique sont un véritable vecteur de rayonnement international. Cette même année 2020, 51,8 % des visites de l'infrastructure HAL provenaient d'autres pays que la France et 47,9 % des visites



d'OpenEdition ont lieu hors d'Europe avec, en tête, les États-Unis (4,5millions de visites). La mise à disposition en accès ouvert des travaux et publications scientifiques permet de voir se développer des usages d'entreprises du secteur privé comme celle du citoyen dans sa pratique informationnelle personnelle. OpenEdition a développé un détecteur de « lecteur inattendu » pour identifier les cas où la diffusion en accès ouvert favorise la diffusion de productions scientifiques en SHS au-delà du public scientifique attendu : le Crédit Mutuel, Dassault, AXA, le secteur automobile sont ainsi des utilisateurs réguliers d'OpenEdition. **Les impacts de cette diffusion massive sont donc à la fois scientifiques, avec des connexions entre disciplines plus fortes, sociales avec des effets sur l'éducation et la formation, et socioéconomiques avec des conséquences sur l'innovation.**

Les succès de la mutualisation et de l'ouverture internationale

Quatre infrastructures se sont alliées pour construire deux projets aujourd'hui lauréats de l'appel PIA3 Equipex+ : HAL avec le projet HALiance et l'alliance d'OpenEdition, d'Huma-Num et de Métopes pour le projet COMMONS. Cela montre la vitalité du secteur et sa capacité à s'organiser en bonne intelligence, en travaillant sur les complémentarités des uns par rapport aux autres tout en préservant les compétences et métiers de chacun. Il semble nécessaire de développer d'autres complémentarités entre infrastructures, par exemple entre les services de SciencesConf (HAL) et de Calenda (OpenEdition). Ces infrastructures connaissent un développement international marqué. L'infrastructure Operas (portée par OpenEdition) joue un rôle de leader à l'échelle européenne et vient d'être intégrée dans la feuille de route ESFRI. Les liens se renforcent entre CollEx-Persée et le réseau des bibliothèques européennes. Software Heritage a vocation à devenir une structure internationale dont le statut juridique est en cours d'étude, en partenariat avec l'UNESCO, avec dès à présent de nombreux financements internationaux, privés et publics. HAL est un membre actif de COAR (*Confederation of open acccess repositories*). La visibilité internationale des infrastructures est particulièrement soignée. HAL, Persée et OpenEdition sont par exemple moissonnés par Google Scholar, de même que HAL et OpenEdition sont indexés par OpenAire. **EOSC devient le lieu d'échange et de développement naturel pour l'ensemble des infrastructures d'information scientifique.**

La place de l'accompagnement et de la formation

Une des forces de ces infrastructures est leur rôle dans le développement d'une offre de soutien aux communautés scientifiques, notamment par le biais de formations (HAL, OpenEdition, ISTEX). Ce soutien en amont aux utilisateurs (chercheurs, ingénieurs, éditeurs) se conjugue avec un accompagnement en aval (promotion, éditorialisation, etc.) des publics de plus en plus diversifiés qui accèdent aux contenus disponibles. L'accompagnement et le service sont au cœur de ces infrastructures. Le développement des compétences en information scientifique au sein de l'ESRI est un élément fondamental de l'évolution de la recherche française et d'implémentation du Plan national pour la science ouverte.

ANALYSE DES INFRASTRUCTURES DE L'INFORMATION SCIENTIFIQUE

HAL+ est une infrastructure dont la finalité est de partager et d'archiver la connaissance et les savoirs. HAL a vu son rôle confirmé par les deux Plans nationaux pour la science ouverte (PNSO 2018 et 2021) et en 2020, le Comité de pilotage de la science ouverte a renforcé sa gouvernance. Son modèle économique est en cours de stabilisation et son développement est assuré par le projet

Equipex+ 2021. À HAL s'ajoutent deux plateformes, Episciences pour l'évaluation et la publication de revues, et SciencesConf pour l'organisation d'évènements scientifiques. HAL+ couvre tous les domaines scientifiques et l'ensemble du processus de publication (certification, édition, publication, archivage…). HAL+ doit réussir sa mutation technique et son interconnexion avec des contenus extérieurs, parvenir à satisfaire les besoins des chercheurs comme ceux des établissements, investir dans l'animation de son réseau et renforcer ses partenariats avec les autres infrastructures et à l'échelle internationale.

OpenEdition diffuse en accès ouvert les résultats de la recherche scientifique, sous forme de livres, de revues, de blogs ou d'événements. L'infrastructure favorise le développement d'une édition numérique de haut niveau et internationale, et l'inscrit dans le cadre de la science ouverte. Elle répond pleinement aux objectifs du plan national pour la science ouverte, en diffusant les productions scientifiques en SHS au-delà du public scientifique, en développant la diversité éditoriale (bibliodiversité) ainsi qu'un modèle économique soutenable, le *freemium*. Lauréat Equipex+ 2021, co-porteur du *Directory of open access* books (DOAB) et de l'infrastructure européenne OPERAS, OpenEdition structure le paysage national et européen de la communication scientifique. OpenEdition devra renouveler son infrastructure logicielle, renforcer ses ressources humaines, accroître sa dimension science-société et s'ouvrir au niveau disciplinaire. Elle doit viser la construction d'un environnement numérique unifié, accessible grâce à une offre de services alliant données déposées dans Recherche Data Gouv (en cours de développement) et publications.

Les missions de **Métopes** sont la modernisation des processus éditoriaux par une gestion multi-support et une fonction structurante porteuse de transformations pour l'édition publique dans le cadre de l'accès ouvert. Métopes permet de s'extraire des logiques de rétroconversion, coûteuses en temps, en moyens, en qualité. Métopes permet d'assurer aux producteurs de contenus la pleine propriété de leur fonds numérique, de relever le défi d'un accès ouvert raisonnable, de faire en sorte que les publications soient aussi des données (interopérabilité et richesse des métadonnées).
Sa petite taille permet l'agilité, mais elle constitue aussi une limite car Métopes a besoin de ressources pour assurer la prise en charge de contenus complexes, le développement de l'accessibilité, la promotion aux échelles nationales et internationales. Sa gouvernance et ses statuts sont à travailler en fonction d'une articulation avec d'autres fonctions structurantes pour l'édition publique (presses universitaires, diffusion distribution).

CollEx-Persée facilite l'accès des chercheurs aux collections des bibliothèques scientifiques en constituant un vaste ensemble de matériaux pour la recherche. Elle vise un effet transformant en rapprochant les professionnels de l'information scientifique des chercheurs et des ingénieurs dans des projets à impact national. Elle porte une politique nationale de numérisation pour la recherche et favorise le développement de services à la recherche adossés aux collections. Elle encourage la production et la collecte d'objets numérisés et nativement numériques, qui complètent et enrichissent les collections (archives scientifiques numériques, données enrichies, services à la recherche…). CollEx-Persée doit développer et renforcer ses liens avec les autres infrastructures, stabiliser les programmes en cours et améliorer leur visibilité, travailler sur la structuration et l'ouverture des données, s'ouvrir vers d'autres partenaires européens et internationaux et confirmer le positionnement central de Persée au cœur de l'infrastructure.

Software Heritage est une infrastructure transversale, qui construit l'archive universelle de tous les codes sources des logiciels à l'échelle



de la planète. Elle s'adresse à un public plus large que la recherche et a une vocation internationale. Elle préserve les connaissances scientifiques et technologiques intégrées dans le code source du logiciel, qui est une partie précieuse de notre patrimoine. En construisant la plus grande base de code pour la recherche sur les logiciels, elle favorise une science meilleure et permet le développement et la réutilisation des logiciels pour la société et l'industrie. Elle est une brique essentielle pour la reproductibilité, un complément de l'Open Access et de l'Open Data. L'infrastructure est opérationnelle avec des fonctionnalités en développement. Cette structure jeune doit être renforcée par une gouvernance solide. Le suivi des usages reste à construire.

ISTEX est une plateforme qui offre à l'ensemble de la communauté de l'ESRI un accès en ligne aux collections rétrospectives de la littérature scientifique dans toutes les disciplines en garantissant une souveraineté documentaire, et des services à valeur ajoutée permettant d'en optimiser l'exploitation par les techniques de fouille de texte afin de produire de nouvelles connaissances. La plateforme a une bonne maturité technique et des compétences fortes en matière de fouille de texte et de traitement des données. Sa visibilité reste à améliorer et sa gouvernance à consolider. Les restrictions contractuelles imposées par les éditeurs restent un frein. Le projet vise à améliorer la gouvernance et le pilotage et à se recentrer sur la fouille de texte en développant des partenariats.

LES MANQUES POTENTIELS À COMBLER, AINSI QUE LES ORIENTATIONS POUR LES CINQ PROCHAINES ANNÉES

Au cœur du processus de la recherche, l'édition scientifique doit être renforcée

La fonction éditoriale est transverse aux fonctions de l'information scientifique. OpenEdition et Métopes assurent, *via* des services performants, une édition structurée et une diffusion ouverte. Malgré cela, les acteurs ayant des missions d'édition, presses universitaires et sociétés savantes, restent trop isolés. Nous avons besoin d'une structuration du secteur éditorial public et parapublic plus forte afin de coordonner et d'animer un réseau de presses universitaires qui mettra en place des actions communes, des synergies et des mutualisations. Dans ce cadre, l'enjeu de la diffusion-distribution apparaît comme majeur dans la perspective de la diffusion des savoirs et il faudra suivre attentivement l'évolution de FMSH diffusion, son articulation possible avec l'AFPU Diffusion ou avec d'autres acteurs, et sa possible intervention dans le secteur de l'impression à la demande.

Développer le lien entre publications et données

Un autre enjeu sera de mieux assurer le lien entre les publications et les données, afin de contribuer à améliorer les conditions d'administration de la preuve, à favoriser la discussion scientifique et la comparaison des résultats de recherche, et enfin à garantir le respect de l'intégrité scientifique dans la production et le traitement des données. La future plateforme nationale fédérée des données Recherche Data Gouv y contribuera, de même que les Equipex+.

Le besoin d'une plateforme de données de la recherche

La ministre Frédérique Vidal a annoncé le 8 décembre 2020 que le MESRI créera « bientôt » un entrepôt « *pour stocker les données orphelines dites de longue traîne dont le poids en octets est peut-être faible, mais dont le poids scientifique peut s'avérer majeur* ». Cet entrepôt a été annoncé en 2021 dans le Deuxième Plan national pour la science ouverte et a vocation à émerger en 2022 sous le nom de Recherche Data Gouv. Son rôle sera structurant et se posera donc la question de son inscription

sur la future feuille de route des infrastructures de recherche. Sa mission devra par la suite être étendue à l'identification des données produites par les autres infrastructures et exposées dans l'un des 3 600 entrepôts de données de la recherche dans le monde.

De nouveaux objets et services à développer

Au-delà des objets traditionnels de l'information scientifique, s'impose désormais la prise en compte de formes nouvelles ou historiquement considérées comme mineures. Ainsi, le code et les logiciels, les archives scientifiques et la vidéo sont des objets qui doivent pouvoir faire l'objet d'une attention particulière à l'avenir. Ils posent des questions d'information scientifique essentielles. Le projet le plus mûr dans ce domaine est celui de Software Heritage, « bibliothèque d'Alexandrie du code source ». Des initiatives comme Canal-U pourraient à terme jouer un rôle dans le domaine de la vidéo et des ressources éducatives.

D'autres services mutualisés s'imposent, autour d'enjeux transverses de méthodes et d'outils au service de la qualité, de la diffusion et de l'internationalisation de la recherche française : détecteurs de plagiat, traduction semi-automatique, *workflow* de soumission des contenus et d'évaluation par les pairs, dispositifs de fouille de textes et de données, interopérabilité. Mais aussi des expérimentations de nouvelles modalités pour améliorer l'efficacité de la recherche : évaluation ouverte, modèles économiques de l'accès ouvert, éditorialisation ciblée.

La fouille de textes et de données, un horizon

Le développement très fort de la fouille de textes et de données nécessite la prise en compte de ce type d'activité, qui s'appuie sur un binôme associant de vastes corpus préparés à cet effet et des instruments permettant des traitements à l'aide de l'intelligence artificielle. Les initiatives dans ce domaine sont nombreuses et de bonne qualité, ce qui nécessite une bonne articulation entre elles et une bonne inscription au sein de la stratégie nationale relative à l'intelligence artificielle. Dans le cadre de la mise en place d'une nouvelle législation sur la fouille de données le projet ISTEX pourrait servir d'infrastructure de TDM pour la recherche en France.

Un écosystème à coordonner

Cet ensemble d'infrastructures constitue un paysage dynamique, complémentaire et structuré sans encore former un écosystème au sein duquel seraient développés les liens entre éditions, publications, données et codes. Dans le cadre de sa stratégie en matière de données, algorithmes et codes sources, le MESRI propose de rassembler les porteurs de ces infrastructures en un réseau d'acteurs autour de l'enjeu de construction collective de l'écosystème français des infrastructures de la science ouverte. Dans ce cadre, ces acteurs ont vocation notamment à développer et implémenter une politique nationale des identifiants pérennes et ouverts pour garantir un lien fiable entre les contributeurs de la recherche, leurs productions, leurs laboratoires et leurs établissements. Cet écosystème a aussi vocation à devenir le lieu de conception et de mise en œuvre des outils de statistiques de fréquentation normalisées (par exemple de type COUNTER 5) pour toutes les infrastructures de la science ouverte.

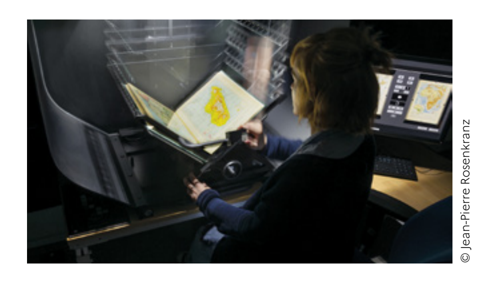


CollEx-Persée

Collections d'excellence pour la Recherche – Persée

CollEx-Persée a pour mission de faciliter l'accès des chercheurs aux collections des grandes bibliothèques scientifiques et de développer l'usage des matériaux qu'elles constituent pour la recherche, par la numérisation et le développement de services liés à leur exploitation et leur enrichissement.

Son action se décline en programmes dédiés au signalement et à l'accessibilité des collections pour la recherche, ainsi qu'au soutien à la production de corpus numérisés et enrichis répondant aux standards de la science ouverte. Ces programmes visent aussi un effet transformant, par le rapprochement des communautés de professionnels de l'information et de chercheurs dans des projets couvrant un vaste champ depuis l'identification de gisements jusqu'à la diffusion et la préservation des corpus numériques. CollEx-Persée s'est construit à partir d'un réseau de grands établissements de recherche et d'opérateurs en information scientifique. L'UAR Persée y tient une place centrale et porte



© Jean-Pierre Rosenkranz

la politique nationale de numérisation enrichie pour la recherche qui vise à coordonner les actions de numérisation de l'ESRI, à mutualiser les outils et les compétences et à promouvoir les bonnes pratiques en matière de numérisation, d'enrichissement, de diffusion et de préservation. CollEx-Persée joue ainsi un rôle structurant dans la transformation de l'information scientifique du fait de la coordination qu'il assure entre les bibliothèques et les différents acteurs du domaine.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Non concerné

Science ouverte et données

- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application

Catégorie : IR

Type d'infrastructure : distribuée

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Strasbourg

Localisation des autres sites (en France) : Boulogne-Billancourt, Bussy-Saint-Georges, Lille, Lyon, Montpellier, Nanterre, Orsay, Paris, Paris 2e, Paris 5e, Paris 6e, Paris 7e, Paris 13e, Paris 16e, Pessac, Saint-Denis, Saint-Martin-d'Hères, Toulouse, Vandœuvre-lès-Nancy, Villeurbanne

Établissement(s) français porteur(s) : BNU

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Alain Colas

Année de création : 2014

Année d'exploitation : 2017

Tutelles/Partenaires : ABES, BNF, BULAC, Campus Condorcet, CNRS, CTLes, École française d'Athènes, ENS de Lyon, IEP Paris, INHA, MESRI, MNHN, Musée du Quai Branly-Jacques Chirac, Observatoire de Paris, Université Bordeaux Montaigne, Université Claude Bernard Lyon 1, Université de Lille, Université de Paris, Université Grenoble Alpes, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris 3, Université Paris Dauphine - PSL, Université Paris Nanterre, Université Paris-Saclay, Sorbonne Université

Contact en France : Chargée de mission Catherine Désos-Warnier – catherine.desos-warnier@bnu.fr

Site web : www.collexpersee.eu

Dimension internationale

Pays partenaires : DE – Fachinformationdienst (FID)

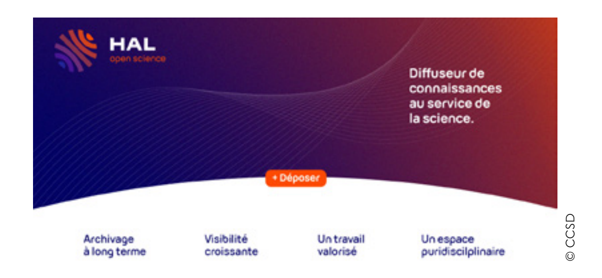
CCSD... Centre pour la Communication Scientifique Directe | HAL+

HAL+

Archive ouverte de prochaine génération

HAL+ est une infrastructure intégrée de diffusion et d'archivage de la production scientifique. Elle couvre tous les domaines scientifiques, les différents types de documents produits par la recherche (articles publiés ou non dans des revues à comité de lecture, communications scientifiques, thèses…) et leur articulation avec les données. Sa stratégie s'inscrit dans le mouvement international en faveur de la science ouverte. Elle repose sur trois plateformes complémentaires : HAL, l'archive ouverte pluridisciplinaire de la recherche française et tous ses portails dérivés, qui en est le moteur premier ; Episciences pour l'innovation éditoriale et la publication en OA diamant de revues et SciencesConf pour l'organisation d'évènements scientifiques.

L'ensemble de ces outils et services permet aux chercheurs et aux établissements de recherche de rendre leur production visible, découvrable, utilisable et accessible à long terme et de se réapproprier la maîtrise du processus de communication scientifique. Le Centre



© CCSD

pour la Communication Scientifique Directe en assure la mise en œuvre.

HAL+ est partenaire du CC in2p3 et du CINES pour l'hébergement et la préservation des données qu'elle gère et de SoftwareHeritage pour la préservation des codes sources et logiciels. HAL+ est également interconnectée aux grands serveurs internationaux (arXiv, REPEC, PMC, Zenodo) et aux principaux référentiels et sources de métadonnées (ORCID, RNSR, ROR, OpenAire, data.gouv.fr, crossref).

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

HAL+ permet le libre accès à la littérature scientifique pour une diffusion de la science la plus large possible et sans obstacle financier. L'open source pour le code des plateformes et l'open data favorisent l'exploitation par des acteurs publics et privés. Le CCSD qui met en œuvre HAL+ collabore avec l'industrie logicielle pour développer de nouveaux outils et services.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/CCSDForge
- Production annuelle de données : 1,2 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://data.archives-ouvertes.fr

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Villeurbanne
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, Inria, INRAE.

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Nathalie Fargier
Année de création : 2001
Année d'exploitation : 2001
Tutelles/Partenaires : 124 universités, organismes de recherche et écoles de l'ESR français
Contact en France : ccsd@ccsd.cnrs.fr
Site web : www.ccsd.cnrs.fr

Dimension internationale

Pays partenaires : Europe : GR, IT, DE, PL, RO, CZ - USA, IN
Site internet : www.openaire.eu/openaire-nexus-project, www.coar-repositories.org/notify



ISTEX

Information scientifique et technique d'excellence

ISTEX abrite une bibliothèque scientifique numérique sans équivalent, donnant accès à un corpus de 23 millions de documents (articles, e-books...) couvrant tous les champs scientifiques. Ces ressources sont pérennes, accessibles et exploitables par la communauté de l'ESR. Complément aux abonnements courants, la plateforme répond à deux besoins :

– la recherche de documents. L'association entre un moteur de recherche puissant et une intégration dans les environnements numériques locaux permet une navigation simple entre les ressources courantes et les collections rétrospectives ;
– la fouille de contenus. Les documents sont prétraités, et enrichis afin d'en faciliter l'exploitation. Des fonctionnalités d'extraction par API permettent de générer des corpus à la demande.

Les principaux objectifs stratégiques de l'infrastructure :

– ouvrir la collection aux ressources nativement publiées en accès ouvert et poursuivre son alimentation grâce à une politique d'acquisition ;



© Léa ANTOINE

– faciliter la constitution de corpus cohérents et enrichis, directement exploitables pour du TDM ;
– promouvoir le développement de services avancés avec la communauté des chercheurs en TAL ;
– offrir des services d'exploration et d'exploitation de corpus accessibles à tous.

La plateforme ISTEX résulte d'un partenariat entre le CNRS, l'Abes, le consortium Couperin, la CPU et l'Université de Lorraine, elle s'appuie sur un système d'adhésion des établissements pour financer sa maintenance logicielle et matérielle.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Les bénéficiaires de l'infrastructure sont les membres des établissements de l'enseignement supérieur et de la recherche.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/istex
- Production annuelle de données : 500 Go
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données www.istex.fr

Catégorie : Projet

Type d'infrastructure : monosite

Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Vandœuvre-lès-Nancy

Établissement(s) français porteur(s) : CNRS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Comité de pilotage Istex

Année de création : 2012

Année d'exploitation : 2015

Tutelles/Partenaires : ABES, Consortium Couperin, INIST-CNRS, France Université, Université de Lorraine

Contact en France : copil.istex@services.cnrs.fr

Site web : www.istex.fr



Métopes

Méthodes et outils pour l'édition structurée

L'infrastructure de recherche Métopes est conçue pour soutenir les structures éditoriales savantes dans l'effort d'inscription de leurs activités et de leurs modes de production dans un contexte résolument numérique tourné vers des objectifs de science ouverte.

Elle vise à mettre au point, à développer et à diffuser, librement et gratuitement, par des actions de déploiement et de formation auprès des éditeurs publics, un ensemble d'outils et de méthodes leur permettant d'organiser, en pleine souveraineté, leur production et leur diffusion imprimée et en ligne dans un environnement normé en prêtant une attention particulière aux standards et à la qualité de structuration des données et des métadonnées.

Elle est à la fois un observatoire et un acteur de l'évolution des pratiques dans la mutation en cours des systèmes de diffusion et de communication de la science en contexte de convergence numérique et de mutation de l'économie de la diffusion-distribution.



© el alce web/Unsplash

Plus immédiatement, Métopes se veut être une boîte à outils pour la pleine intégration des logiques numériques à la construction et à l'exploitation des fonds éditoriaux pour permettre :

– de s'extraire des coûteuses logiques de rétroconversion ;
– d'assurer aux producteurs publics de données la pleine propriété de leur fonds numérique ;
– de relever en pleine autonomie éditoriale le défi d'un accès ouvert raisonnable ;
– de hausser par la formation le niveau de compétences des personnels des structures publiques.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Accords avec des partenaires de l'industrie du logiciel pour le co-développement d'environnements de saisie, d'annotation et de transcodage de flux structurés normés (XML-TEI ; JATS ; ONIX ; ePub3 pour l'accessibilité…), et de l'industrie de l'édition matérielle et de la diffusion pour le développement d'automates de composition de flux structurés destinés à la production de livres, d'epubs et à l'alimentation de plateformes de diffusion.

Science ouverte et données

- Une partie des publications issues de projets utilisant l'infrastructure est en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://git.unicaen.fr/metopes
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Caen
Établissement(s) français porteur(s) : UNICAEN, CNRS-INSHS

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Dominique Roux
Année de création : 2018
Année d'exploitation : 2018
Tutelles/Partenaires : UniCaen – CNRS-InSHS
Contact en France : dominique.roux@unicaen.fr
Site web : www.metopes.fr



OpenEdition

Communication scientifique ouverte en sciences humaines et sociales

OpenEdition est une infrastructure au service de la communication scientifique en sciences humaines et sociales. Elle rassemble quatre plateformes dédiées aux revues (OpenEdition Journals), aux collections de livres (OpenEdition Books), aux carnets de recherche (Hypothèses) et aux événements scientifiques (Calenda). Infrastructure de recherche nationale, OpenEdition est portée par OpenEdition Center, Unité d'appui et de recherche (UAR 2504) du CNRS, d'Aix-Marseille Université, de l'EHESS et d'Avignon Université.

Ses missions :

– le développement de l'édition numérique en accès ouvert ;
– la diffusion des usages et compétences liées à la communication scientifique ;
– la recherche et l'innovation autour des méthodes de valorisation et de recherche d'information induites par le numérique ;
– garantir un haut niveau de fiabilité et de disponibilité des plateformes.

OpenEdition inscrit son action dans le cadre du Plan national pour la science ouverte.



© Lisa George

OpenEdition Freemium est un partenariat proposé aux institutions, qui vise à construire un modèle économique durable pour l'accès ouvert.

OpenEdition accueille des projets de R&D au sein d'OpenEdition Lab pour permettre la création de nouveaux savoirs et le déploiement de services innovants.

OpenEdition coordonne, avec le soutien d'Huma-Num, le projet européen OPERAS, inscrit à la feuille de route ESFRI, et a créé, avec la fondation OAPEN, la fondation DOAB.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

OpenEdition propose un programme pour le développement de l'édition scientifique en Accès Ouvert dans le domaine des SHS : OpenEdition Freemium. Ce partenariat pour les institutions permet de construire un modèle économique innovant et durable. La totalité des revenus engendrés par ce programme est réinvestie dans le développement de l'édition scientifique en Accès Ouvert. 66 % des revenus engendrés par le programme sont reversés aux éditeurs.

Science ouverte et données

- 80 % des publications issues de projets utilisant l'infrastructure sont en accès ouvert
- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://github.com/OpenEdition
- Production annuelle de données : 1 To
- Infrastructure dotée d'une politique de données FAIR en application
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://oai-openedition.readthedocs.io/en/latest

Catégorie : IR
Type d'infrastructure : distribuée
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Marseille
Localisation des autres sites (en France) : Paris, Villeurbanne
Établissement(s) français porteur(s) : CNRS, EHESS, AMU, AU

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Marie Pellen
Année de création : 1999
Année d'exploitation : 1999
Tutelles/Partenaires : 170 institutions dans le monde participent aux programmes freemium d'OpenEdition
Contact en France : contact@openedition.org
Site web : www.openedition.org

Dimension internationale

Responsable : pierre.mounier@openedition.org

Pays partenaires : DE, IT, GB, GR, HR, NLD, PR, PT, SI
Site internet : www.operas-eu.org



Software Heritage

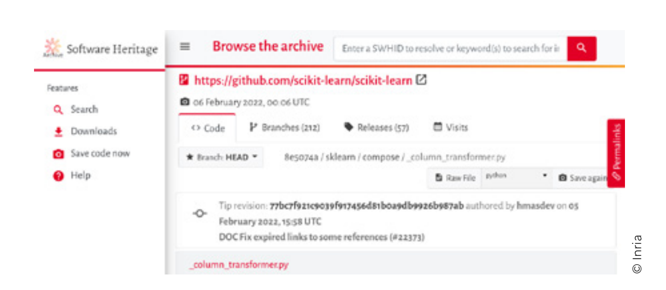
Software Heritage

Software Heritage est une archive universelle ayant pour mission de collecter, préserver et rendre facilement accessible le code source de tous les logiciels disponibles publiquement, avec tout l'historique de leur développement.

Software Heritage contribue à construire le pilier logiciel de la Science ouverte, en répondant à deux besoins clés : l'archivage pérenne et public des codes sources des logiciels produits ou utilisés par la recherche, et le référencement exact des versions utilisés dans les expérimentations, ce qui en facilite la reproductibilité.

Le code source publiquement disponible est collecté de plusieurs façons :

– automatiquement et régulièrement depuis des plateformes d'hébergement de code, comme GitHub, GitLab.com ou Bitbucket, et des archives de paquets, comme Npm ou Pypi ;
– à la suite d'un signalement sur l'interface « Save Code Now » ;



© Inria

– par le dépôt depuis la plateforme multidisciplinaire d'archives ouvertes HAL.

L'ensemble du code source, avec son historique de développement, est intégré dans une structure de données spécifique, un graphe dirigé acyclique de Merkle, et à tous les artefacts logiciels dans l'archive sont associés des identifiants cryptographiques intrinsèques et pérennes, appelés SWHID, qui en garantissent l'intégrité.

Relations avec les acteurs économiques et/ou impact socio-économique

Porté par une organisation sans but lucratif, ayant vocation à devenir une organisation internationale, Software Heritage est une infrastructure mutualisée, en partenariat avec l'UNESCO, qui œuvre pour préserver et rendre accessible le code source de tous les logiciels publiquement disponibles, au service de l'industrie, de la recherche, de la culture et de la société dans son ensemble.

Science ouverte et données

- Les codes sources produits par l'infrastructure sont ouverts sur une forge logicielle https://forge.softwareheritage.org
- Production annuelle de données : 100 To
- Les données validées et décrites sont publiées sur un entrepôt de données https://archive.softwareheritage.org

Catégorie : Projet
Type d'infrastructure : monosite
Localisation du siège de l'infrastructure (en France) : Paris
Établissement(s) français porteur(s) : Inria

Directeur de l'infrastructure ou représentant(s) en France : Roberto Di Cosmo
Année de création : 2015
Année d'exploitation : 2018
Tutelles/Partenaires : CEA, CNRS, DINUM, Inria, MESRI, Université de Paris, Sorbonne U
Contact en France : info@softwareheritage.org
Site web : www.softwareheritage.org/?lang=fr

Dimension internationale

Pays partenaires : IT (Université de Bologne, Université de Pise), NLD (DANS), UNESCO
Site internet : www.softwareheritage.org/support/sponsors

Place des données de recherche dans les infrastructures



INTRODUCTION

En 2018, la Commission européenne[1] a évalué le coût de l'absence d'une bonne gestion des données scientifiques à 10,2 Mds € par an, en identifiant des sources de pertes d'efficacité (temps passé, coût de stockage), et des impacts négatifs sur les étapes majeures du travail de recherche (prétraitement et « nettoyage » des données, intégration de données hétérogènes, analyse des données). En le rapportant à la contribution nationale au budget européen, cette perte s'élèverait à 1,32 Mds € par an pour la seule France.

Les infrastructures de recherche constituent un dispositif central de la production ou du traitement des données de la recherche française puisqu'elles contribuent aux recherches d'une communauté large d'environ 100 000 chercheurs, enseignants-chercheurs et ingénieurs, par an. Dans le contexte du renouvellement de la feuille de route des infrastructures, les données font donc l'objet d'une attention toute particulière. Cette attention a évolué, et continue de le faire, pour mieux prendre en compte les transformations survenues depuis la publication de la précédente feuille de route, en 2018 : le contexte de Science Ouverte, également traité par ailleurs, et la structuration autour des principes FAIR[2] permettent une meilleure prise en compte des données, et demandent à être mieux diffusés et explicités.

Etant présentes à toutes les étapes du travail de recherche, il est nécessaire de comprendre la place des données au sein des infrastructures de recherche, en lien avec celle qu'elles occupent dans les projets utilisateurs de ces infrastructures, afin de pouvoir cerner à quel niveau il est nécessaire de s'intéresser en termes de changement de pratiques ou de stratégie. L'appréciation de la maturité des pratiques de gestion des données, ainsi que la recherche des bonnes pratiques pour ce qui est des services numériques déployés (calcul et traitement, distribution, stockage et archivage…), dans chaque infrastructure ou par domaine scientifique, permettra de définir l'échelle pertinente d'une stratégie nationale ambitieuse.

Ce tour d'horizon de la prise en compte des données nous permettra d'identifier des infrastructures particulièrement remarquables tant par leur niveau de prise en compte des principes FAIR que par leur intégration au sein de la stratégie de transformation numérique de l'ESRI. L'objectif est que ces infrastructures permettront, en s'appuyant sur elle, de diffuser des principes directeurs de la prise en charge de la donnée, de sa FAIRisation ainsi que de l'intégration à l'écosystème EOSC en cours d'élaboration, tant au niveau français qu'européen.

MÉTHODOLOGIE

L'attention apportée aux données a été appréciée au travers d'une vingtaine de questions spécifiques du formulaire renseigné par chacune des infrastructures candidates mais aussi grâce aux questions liées à la science ouverte, au positionnement français ou international de l'infrastructure et à l'organisation, à ses communautés utilisatrices, à ses liens avec les organismes de recherche ou avec des partenaires industriels. L'analyse a été structurée selon quatre axes :

- **Production :** appréciation des volumes et natures de données produites au sein des infrastructures, collectées ou seulement traitées par les infrastructures ;

1 Cost of not having FAIR research data – https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d375368c-1a0a-11e9-8d04-01aa75ed71a1

2 FAIR : Facile à trouver, Accessible, Interopérable, Réutilisable

- **Stockage des données en cours de traitement :** appréciation des solutions et politiques en matière de stockage des données dans la phase amont du cycle de vie : collecte, création, analyse, traitement, calcul ;
- **Traitement :** appréciation des capacités de traitement et de calcul mises à disposition ou utilisées par les infrastructures ;
- **Diffusion :** pour que les données soient diffusables ou même réutilisables par les équipes productrices, la mise en conformité avec les principes FAIR (« Facile à trouver, Accessible, Interopérable et Réutilisable) est essentielle.

L'appréciation des pratiques de **gestion de la donnée**, au travers des questions autour des pratiques de mise en place de plan de gestion des données, de respect des principes FAIR et des métiers d'intendance (*data steward*) et de protection de la donnée constitue une dimension d'analyse complémentaire et transverse à ces 4 axes.

PRODUCTION ET STOCKAGE DES DONNÉES

La quasi-totalité (95 %) des infrastructures candidates déclarent produire des données. Cette production s'élève pour l'ensemble des infrastructures à **1 255 Po (Pétaoctets) pour la seule année 2020**.

Cette production ne se répartit pas de façon équilibrée entre tous les domaines scientifiques, et certaines infrastructures produisent des centaines de Pétaoctets par an, là ou d'autres n'en produisent que quelques Gigaoctets. Parmi les 108 infrastructures candidates produisant des données, les volumes de production se distribuent de la manière suivante :

À elles-seules, les 31 infrastructures de production massive de données produisent 1 250 des 1 255 Po de données.

Pour les infrastructures ayant une production annuelle de données de plusieurs Po, le stockage est confié à un partenaire pour 2/3 d'entre elles. Pour ces 2/3, il est confié à parts égales aux datacenters nationaux

	Po	To	Go	Mo
Astronomie – Astrophysique	4	6		
Biologie-Santé	9	18		
Énergie		5	1	
Information Scientifique		3	1	
Infrastructures analytiques et matériaux	3	4	3	1
Physique nucléaire et hautes énergies	7	5		
Sciences du numérique et mathématiques		3		
Sciences Humaines et Sociales		2	2	
Services numériques*	3	1		
Système Terre et Environnement	5	12	8	
TOTAL	**31**	**61**	**15**	**1**

Tableau 1 : Production annuelle des données par ordre de grandeur et domaines thématiques. Exprimé en nombre d'infrastructures manipulant chaque type de volume (Po, To, Go, Mo)

* pour les infrastructures numériques est rapportée dans ce tableau leur production propre et non le volume des données de tiers qu'elles hébergent.



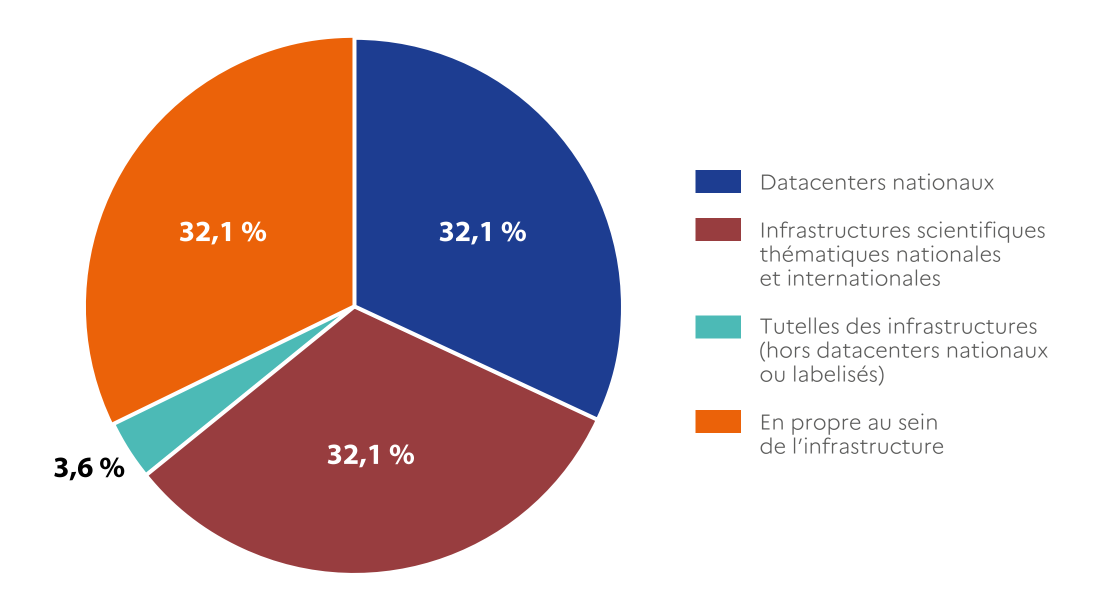


Figure 1 : Lieu de stockage des données pour les infrastructures productrices de Pétaoctets de données

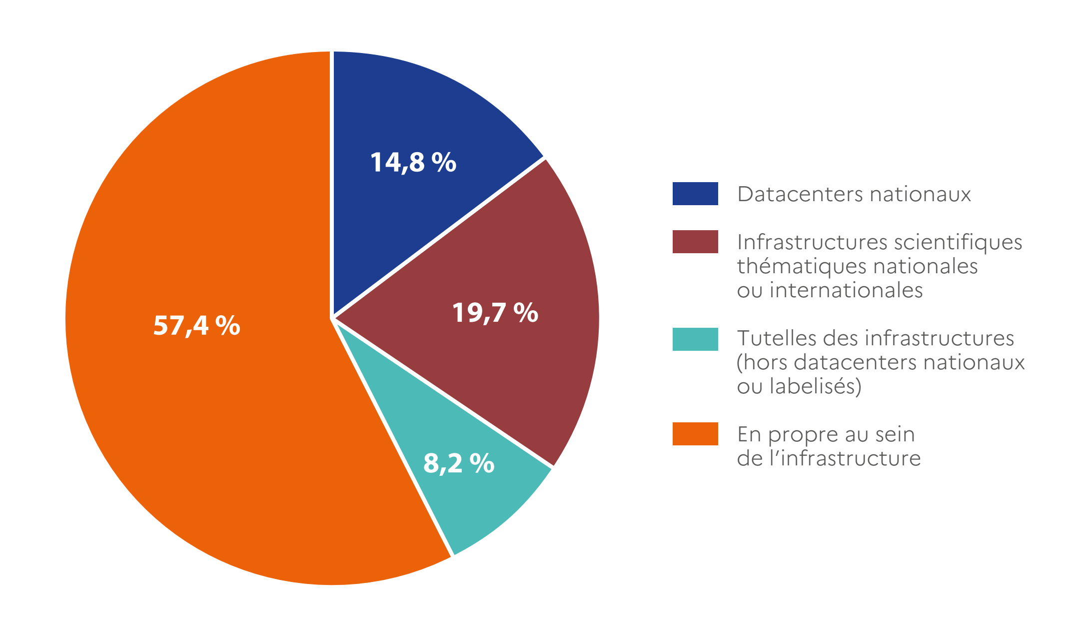


Figure 2 : Lieu de stockage des données pour les infrastructures productrices de Téraoctets de données

de l'ESRI (**CC-IN2P3**, **CINES**, **IDRIS**, **TGCC**) et à des infrastructures de recherche spécialistes du domaine scientifique (**IFB**, **SKA**…).

Les infrastructures ayant une production dont l'ordre de grandeur se mesure en To portent majoritairement la fonction de stockage en leur sein.

Il en va de même pour les infrastructures dont la production est plus faible en volume, la tendance du stockage en propre y étant généralisée, conduisant à un éparpillement de la donnée, disséminée en termes d'hébergement et de stockage dans divers locaux et sur divers médias, souvent gérés par les équipes de recherche, voire par les chercheurs eux-mêmes.

Rappelons que la valeur scientifique des données n'est pas dépendante de leur volume. Cette analyse montre de façon criante que pour les 77 infrastructures produisant un total de 5 Po de données par an, le stockage des données est fragile puisqu'il est opéré sur des systèmes non dédiés et non sauvegardés, comme notamment les postes de travail des chercheurs utilisateurs des infrastructures.

Cette analyse confirme que les **services de stockage en soutien aux infrastructures scientifiques sont encore majoritairement opérés par les infrastructures elles-mêmes, ou par leurs utilisateurs, ce qui conduit soit, quand ils existent, à des services très éclatés entre les domaines scientifiques, soit à une absence de services de stockage et de sauvegardes des données**. En plus de cette dispersion, les correspondants « données » des infrastructures thématiques ou les informations complémentaires apportées par les réponses à l'enquête décrivent ces services comme sous-dimensionnés et devant être rationnalisés dans un souci de mutualisation des efforts et de réduction des pertes ou risques de perte des données, de maîtrise de leur conservation et d'optimisation des coûts de ces moyens. Si le questionnaire n'y fait pas référence explicitement, la situation mise en évidence pose, au-delà des risques de perte de données liés à ce manque de gestion, la question de la (cyber)sécurité des données : stockées dans des lieux et sur des moyens insuffisamment gérés, celles-ci sont de fait très exposées aux risques pouvant aller de la corruption (perte d'intégrité) jusqu'au vol.

L'importance de la spécificité des données par grands domaines scientifiques ressort des témoignages qui expriment ne pas recourir à des services génériques, perçus comme inadaptés en matière de niveau de services ou de coûts. Pour surmonter la fragilité et la dispersion constatées, ils appellent à la définition d'une offre de service de stockage des données au plus près des besoins des chercheurs en soulignant que cette **offre doit répondre aux besoins spécifiques des communautés scientifiques**.

Les infrastructures ont également été questionnées sur les éléments de politique de stockage des données, afin d'apprécier au-delà des dispositifs en place le soin apporté au stockage des données entre les infrastructures et les projets utilisateurs des infrastructures.

Si les infrastructures n'adressent en moyenne que pour 61 % d'entre elles les questions de politique de stockage, certains domaines scientifiques semblent y accorder une part plus importante ou se sont organisés pour déléguer cette politique. Ces ratios doivent donc se lire avec prudence puisqu'ils dépendent de la structuration des infrastructures dans chacun des domaines. En effet, les domaines **« Physique nucléaire et hautes énergies », « Système Terre et environnement » et « Astronomie-Astrophysique »** ont structuré un paysage d'infrastructures en spécialisant certaines d'entre-elles sur des services numériques de stockage, voire de traitement, des données en soutien à l'ensemble de leur communauté. C'est ainsi que la politique de stockage peut apparaître absente dans la moitié des infrastructures du domaine « Physique



nucléaire et hautes énergies » puisque celles qui délèguent le stockage n'en ont pas besoin. Le domaine **Biologie-Santé** initie la même démarche en spécialisant par secteurs certaines de ses infrastructures dans le développement de services numériques dédiés au stockage et à l'analyse (génomique, notamment au travers du collecteur analyseur de données – CAD et de l'Institut français de bio-informatique – IFB). Les domaines des **Sciences humaines et sociales** et de **l'Information scientifique** ont choisi de s'appuyer sur la politique de stockage des spécialistes de services d'infrastructures numériques (CC-IN2P3 et CINES). Pour autant, afin que les services de stockage et d'analyse soient adaptés aux enjeux du domaine scientifique, les Sciences humaines et sociales ont décidé de spécialiser une équipe de 3 ingénieurs en charge des services informatiques spécifiques du domaine SHS, hébergée au sein du CC-IN2P3. Les échanges avec les coordinateurs des groupes thématiques **« Énergie »** et **« Sciences du numérique »** confirment la nécessité de déployer des politiques et dispositifs de stockage mutualisés pour maîtriser la sauvegarde des données.

Lorsque les politiques de stockage ont été fournies, dans le cadre des réponses à l'enquête, elles révèlent apporter toutes les garanties en termes de sécurisation et de préservation technique des données. Cependant, elles ne traitent jamais des questions de formats standardisés de données, ou de la définition des stades pertinents auxquels stocker ces données.

Pour les autres domaines dans lesquels le stockage est opéré au sein même de l'infrastructure productrice, les garanties de sauvegarde des systèmes de stockage, et donc de sécurisation des données à moyen terme, semblent plus fragiles.

Il ressort de cette analyse des éléments rapportés par les infrastructures et les groupes thématiques qu'une **stratégie de mutualisation et de sécurisation des offres d'hébergement et de stockage prenant en compte le cycle de vie de la donnée, et couplée à la stratégie de transformation numérique serait souhaitable**.

TRAITEMENT ET DIFFUSION

L'analyse montre que les **infrastructures sont à la fois en charge de la production et du traitement des données**, à l'exception de quelques domaines. Les infrastructures

	Politique de stockage
Astronomie – Astrophysique	81,8 %
Biologie-Santé	77,8 %
Énergie	16,7 %
Information Scientifique	75,0 %
Infrastructures analytiques et matériaux	75,0 %
Physique nucléaire et hautes énergies	50,0 %
Sciences du numérique et mathématiques	0,0 %
Sciences Humaines et Sociales	80,0 %
Services numériques	80,0 %
Système Terre et Environnement	76,9 %
MOYENNE	**61,3 %**

Tableau 2 : Présence d'une politique de stockage des données par domaine d'infrastructures

« chimie et matériaux » offrent des capacités d'analyse d'échantillon ou de fabrication à leurs utilisateurs mais ne sont pas parties prenantes des projets, se positionnant uniquement en fournisseur de service de traitement de la donnée. Les **infrastructures d'Information scientifique ajoutent pour leur part aux activités de traitement une forte activité de diffusion**, logiquement au cœur de leur action.

Rares sont les infrastructures qui ont recours à un tiers dans le cadre du traitement de leurs données. Les quelques cas se concentrent sur les infrastructures ayant des besoins de calcul importants. La nécessité d'une offre de calcul et de traitement de données adaptée aux besoins est fortement exprimée par des domaines scientifiques pour lesquels les offres des grands centres de calcul ne semblent pas adaptées à ce stade. **Des services intermédiaires – en nombre d'heures calcul – sont sollicités** comme un accès facilité à l'offre de France Grille notamment.

Le traitement de la donnée, dès son acquisition, requiert une attention particulière de gestion et de description, afin que le traitement des données stockées soit explicite pour ensuite pouvoir favoriser leur réutilisation, tant par les producteurs eux-mêmes, que par des chercheurs de la même communauté ou par les différents partenaires des infrastructures.

GESTION DES DONNÉES

La donnée sous l'angle de sa gestion a été appréciée dans les infrastructures au travers des pratiques de plan de gestion des données, de mise en œuvre des principes FAIR et de la présence de métiers de la donnée, notamment de protection des données ou d'intendant des données (*data steward*). La fonction de l'intendant

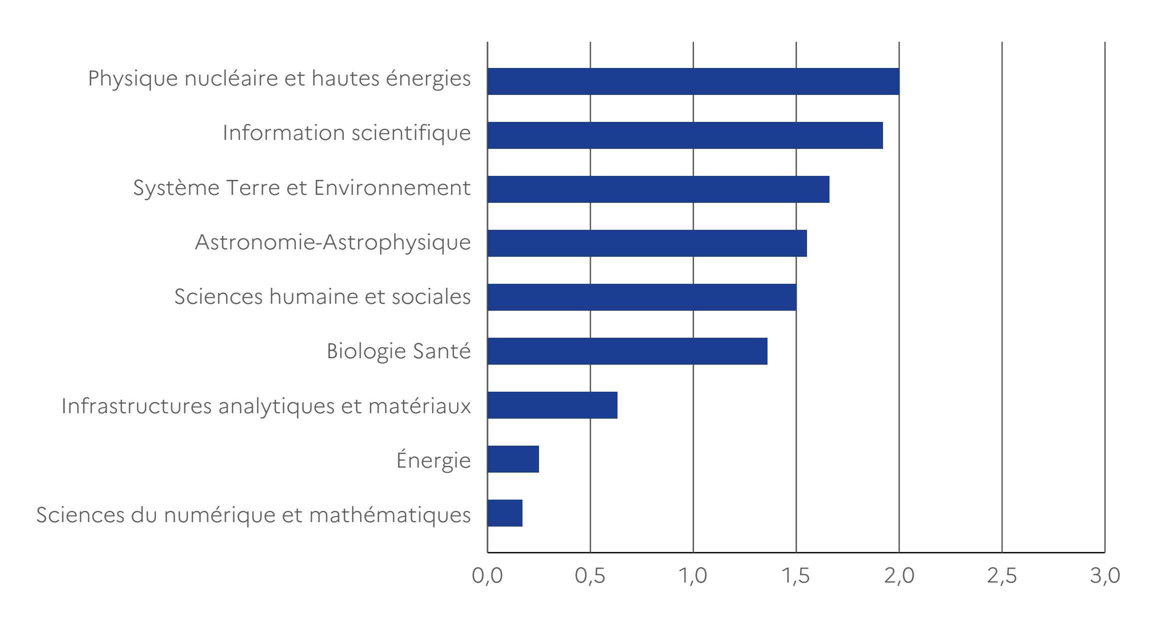


Figure 3 : Maturité de la gestion de la donnée par domaine scientifique

La maturité est appréciée sur un axe allant de 0 à 3 selon les renseignements apportés par les infrastructures sur la dizaine de questions portant sur le plan de gestion de données, les pratiques FAIR et les métiers de la donnée. Signification de la valeur des axes : 0 : Absence de pratiques et de métiers, 1 : Pratiques et métiers émergents, 2 : Pratiques et présence des métiers en cours de généralisation, 3 : Pratiques systématiques et métiers suffisamment présents



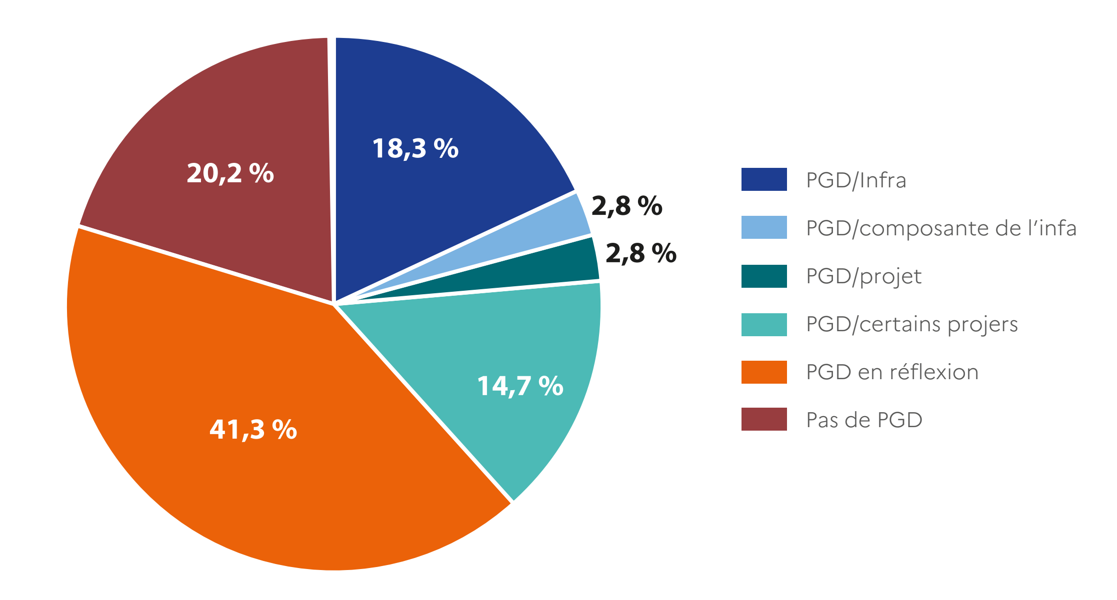


Figure 4 : Plan de gestion de données (PGD)

des données est d'assurer l'organisation des données, le lien entre la structuration informatique et l'organisation « métier-disciplinaire » des données et de veiller à la qualité des informations sur les données, à leur non-obsolescence ou à leur destruction quand elles sont obsolescentes.

Cette analyse met en évidence **que le soin apporté aux données en termes de stockage et de conservation est intimement lié au domaine scientifique**. Les communautés les plus avancées sont celles organisées en écosystème d'infrastructures, celles qui ont déployé des fonctions d'intendance opérationnelle des données. La mise en place d'un plan de gestion de la donnée est aussi révélatrice de la place accordée à la donnée, comme simple « consommable » ou comme bien commun et précieux.

L'étude met clairement en évidence que la mise en place du plan de gestion des données (PGD) reste largement à la main des utilisateurs, dans le cadre de leur projet de recherche, mais n'a pas été identifié comme un outil structurant de la bonne gestion des données dans le cadre de leur acquisition et de leur stockage intermédiaire, lors des phases de traitement ou de stockage pérenne. Les PGD communiqués en pièces jointes à l'enquête par les rares infrastructures à en être dotées à l'échelle de toute l'infrastructure démontrent **une prise en compte très forte de la gestion de la donnée dès l'amont du cycle de la donnée : depuis l'acquisition jusqu'à la donnée scientifique validée par le traitement**. La partie publication et diffusion de la donnée est liée à une gestion réussie en amont.

Comme pour le stockage, **les domaines ayant structuré leur écosystème d'infrastructures autour d'une ou deux infrastructures de services informatiques de stockage et traitement des données sont les plus avancés dans la gestion des données et *in fine* dans leurs capacités de partage et d'ouverture des données à leur communauté scientifique**.

Les réponses à l'enquête soulignent l'importance de l'émergence ou de la

généralisation des pratiques de gestion et de FAIRisation des données, par domaines scientifiques. Encourager leur adoption systématique par les infrastructures et imposer ces pratiques aux utilisateurs dans les conditions d'usage ou dans la sélection des projets lors des appels à projet participeraient fortement d'une meilleure utilisation et réutilisation des données. Le domaine de l'énergie illustre ce besoin de pratiques, non pas pour l'ouverture de jeux de données adossées aux publications, mais pour permettre une sécurisation du stockage et le partage des données entre tous les partenaires des infrastructures. En effet, ces infrastructures sont porteuses de contraintes de partage restreint des données liées à la dimension R&D, attachée au partenariat entre des EPICs et des industries de l'énergie. S'il était encore nécessaire de le démontrer, cet exemple illustre que **des dispositifs et politiques de stockage de données décrites contribuent à une bonne gestion des données dès l'amont du cycle de vie et ne sont pas qu'une pratique dédiée aux infrastructures ayant adopté de fortes stratégies d'ouverture**.

STRATÉGIE DE PRÉSERVATION DES DONNÉES DE RECHERCHE PAR DOMAINE SCIENTIFIQUE

À partir de ces éléments de constat partagé entre producteurs et utilisateurs, une stratégie nationale ambitieuse pourrait être dessinée en matière de préservation souveraine des données de recherche, dès leur stade d'acquisition et tout au long de leur traitement. Les **politiques de stockage des données devraient s'attacher à définir, par domaine scientifique, les stades pertinents de conservation et de curation des données afin de permettre une gestion économe du stockage intermédiaire et de longue durée, prenant en compte les besoins de réutilisation tout en réduisant le poids des données obsolètes et/ou inutiles**.

Cela offrirait également aux équipes productrices, comme aux utilisateurs des infrastructures, une capacité et une garantie de ré-accession à des données pertinentes et de qualité pour de nouveaux traitements, ou d'intégration à d'autres jeux de données.

L'ouverture des jeux de données «citables» ne constitue qu'une petite frange des données de recherche traitées, notamment parce qu'elles sont très majoritairement associées à des publications, alors que les données «dormantes», difficiles d'accès du fait d'un manque de description, structuration ou préservation, conduisent à une énorme perte de potentiel scientifique et donc à une perte économique évidente. En tout premier lieu, ce manque de soin aux données, dès leur acquisition, conduit une large proportion des équipes de recherche productrices de ces données à éprouver une grande difficulté à réaccéder à leurs propres données, dès lors que celui ou celle qui les a acquises ou traitées a quitté le laboratoire, et que les données ne sont pas conservées sur des dispositifs garantis et organisés. Lorsque les infrastructures sont interrogées sur la question de l'ouverture des données associées à leurs publications, la première préoccupation exprimée est celle de la préservation/récupération ou réutilisation de leurs propres données. Ces constats appellent une réponse urgente et structurée à l'échelle de l'ESRI pour que les services proposés aux chercheurs soient lisibles au travers d'offres en adéquation avec leurs besoins.

La démarche de labellisation des datacenters en région, identifie l'offre d'hébergement en région qui complète l'offre des centres nationaux déjà utilisée par un nombre conséquent d'Infrastructures de Recherche. Elle accompagne la mise en place d'une stratégie de mutualisation visant à déployer des services sécurisés, à l'état de l'art, opérés et optimisés. Cette fédération de Datacenter ayant à moyen terme vocation à servir



de socle de déploiement **aux services numériques** de l'ESRI. **Cette démarche veille notamment à la préservation souveraine et sécurisée des données utilisées et produites par les grands domaines scientifiques et les Infrastructures de Recherche.** La démarche accompagne la transformation des usages et moyens numériques déployés pour toute la communauté de recherche.

L'adhésion des communautés à la démarche de modernisation du déploiement des moyens numériques est source d'économies substantielles. Elle doit en outre permettre de garantir la sécurité et la souveraineté des traitements et des données et d'offrir aux chercheurs une offre IT lisible, accessible et compétitive. Elle doit accompagner le développement de capacités d'analyses nouvelles ou d'intégration à des données non encore valorisées.

S'agissant des services à la donnée, une démarche par palier en fonction de la maturité de chaque secteur viserait à définir différents niveaux et natures d'offres de services en fonction des besoins propres à chacun des 8 domaines scientifiques. Une approche par écosystèmes de couches de services numériques spécialisés s'appuyant sur des infrastructures IT distribuées et des services cloud hébergés dans les datacenters nationaux et régionaux labélisés serait souhaitable. Les communautés scientifiques pourront ainsi bénéficier de services spécifiques tout en contribuant à la réduction de dispersion des moyens IT dans les infrastructures scientifiques ou dans les établissements/laboratoires. Cette approche permettra de réduire les risques, d'accompagner les démarches de qualité et de conformité, et de déployer des services efficients et compétitifs au service de la recherche répondant ainsi et à la perte d'efficacité soulignée en 2018 par l'étude de la commission européenne dans le cadre de l'initiative EOSC.

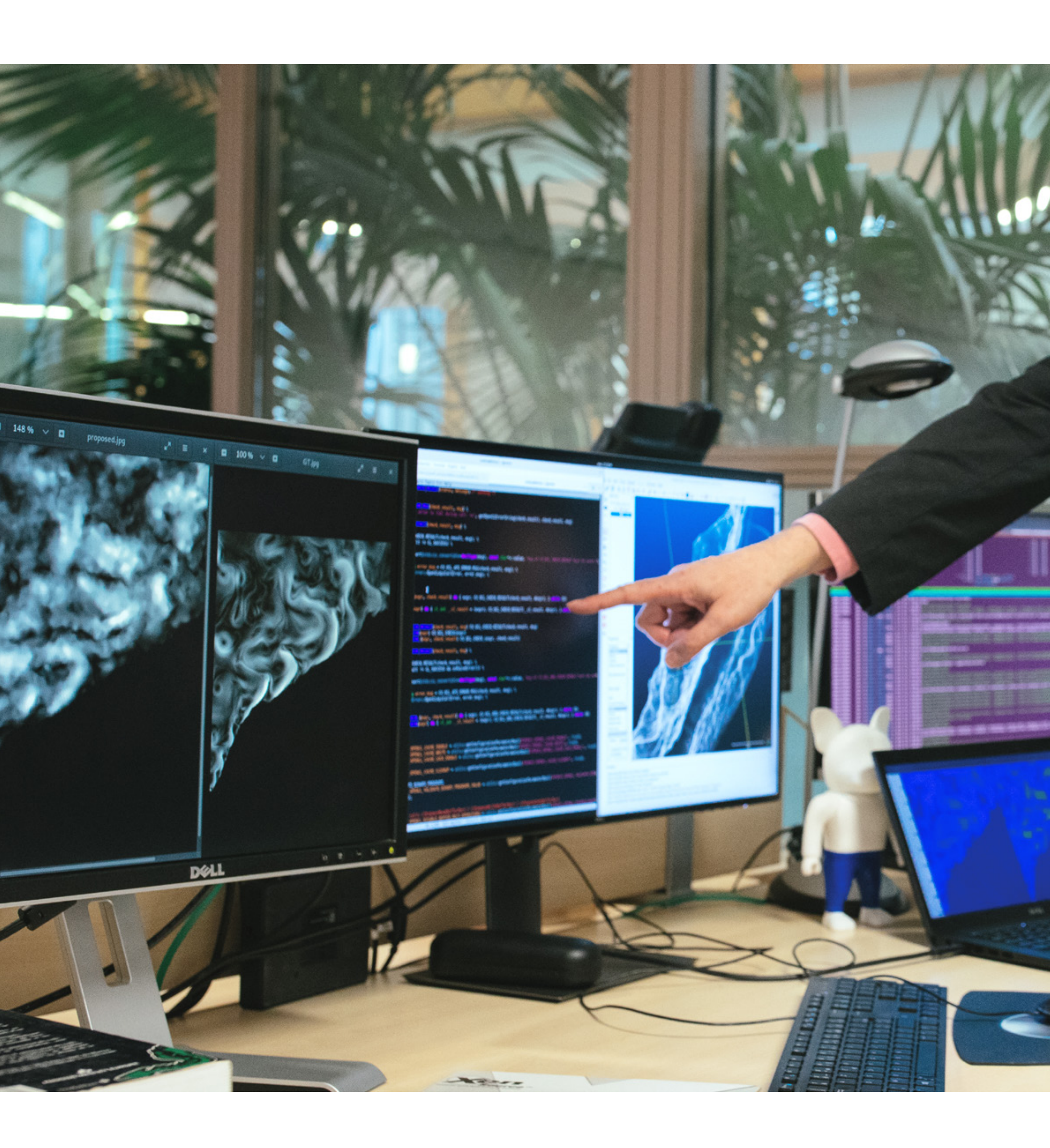
DES INFRASTRUCTURES DE SERVICES AUX DONNÉES PARTIES PRENANTES DE LA TRANSFORMATION NUMÉRIQUE

La nécessaire prise en compte de la problématique des données par les infrastructures de recherche, et la progression de leur niveau d'adéquation aux principes FAIR doivent se faire dans une stratégie alignée avec celle de la transformation numérique, les infrastructures qui produisent, utilisent et mettent à disposition des données aux communautés de recherche étant très consommatrices de ressources numériques. La mise en œuvre d'une stratégie est complexe puisqu'elle exige de fédérer les acteurs porteurs, dans une logique de rationalisation des efforts et des compétences. Pour ce faire, nous entendons nous appuyer sur les initiatives construites par les infrastructures qui ont les démarches les plus avancées, et dont la position centrale au sein des champs disciplinaires fournira un très bon effet d'entrainement.

Ainsi que nous l'avons vu, la diversité des parcours de chaque champ disciplinaire interdit de penser les infrastructures de services aux données comme un unique modèle. Il convient donc a contrario de chercher à identifier certaines structures socles, dont l'action traverse les champs, à l'instar du CC-IN2P3 ou du CINES, et d'y agréger les pôles disciplinaires en fonction de leur pertinence, comme DATA TERRA et PNDB, pour lesquels la problématique des données est au cœur de leur rapprochement. Le CDS et HUMA-NUM, dont l'action est historique dans les champs de l'astronomie et des SHS sont également incontournables. Le champ de la santé, de par son avancement et les défis relatifs au développement d'outils de traitements numériques constitue une dernière brique, avec l'IFB, le CAD et France Cohorte.

Dans un premier temps, ce sont ces 9 infrastructures qui feront l'objet d'une attention particulière, dans l'objectif d'améliorer substantiellement les services aux données dans le cadre de cette feuille de route nationale.

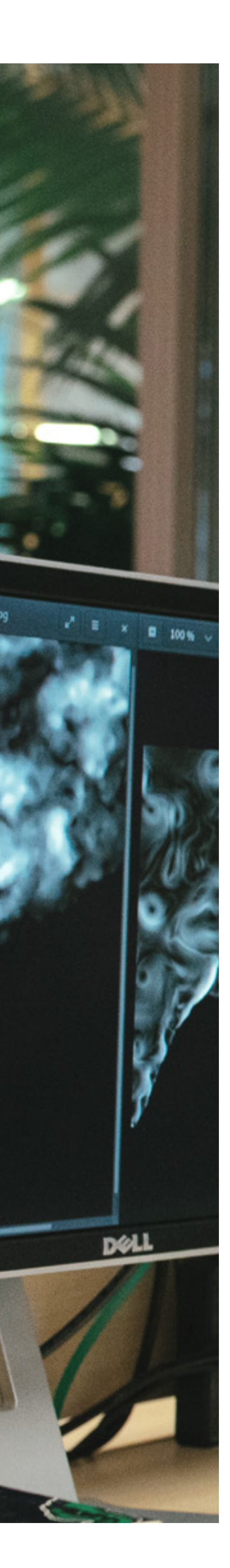
Notons enfin le rôle particulier de deux infrastructures qui ne sont pas à proprement parler des infrastructures de services aux données, mais dont le rôle est particulier dans ce paysage : d'une part GENCI qui a en charge l'équipement des centres de calcul en moyens de calcul et en stockage de données computationnelles, et d'autre part RENATER dont l'architecture réseau doit prendre en compte les principaux points d'hébergement et de stockage des données.


148 %
proposed.jpg
100 %
GT.jpg
DELL



Infrastructures de recherche et science ouverte

Science ouverte : trois grands niveaux d'avancement dans les infrastructures de la feuille de route



INTRODUCTION

Le Plan national pour la science ouverte (PNSO) et les principes fondateurs de l'European open science cloud (EOSC) rappellent le principe fondamental de la science ouverte : la recherche est un bien commun qui doit être partagé avec tous. Le mouvement de la science ouverte est reconnu par la communauté scientifique et par les gouvernements comme le nouveau paradigme qui favorise la transparence, la collaboration et l'utilité pour la société. Elle constitue un véritable accélérateur de recherche et ouvre d'importants potentiels heuristiques, c'est-à-dire de découvertes scientifiques.

C'est la globalité du processus de recherche qui doit être transformée selon le paradigme de la science ouverte. Cependant, si le libre accès à une publication peut être pensé par le chercheur au moment de la soumission d'un article à une revue, l'ouverture ou le partage des données, du code, des méthodes/protocoles et des logiciels de la recherche doivent être envisagés en amont du projet. Encore plus en amont, l'exploration et l'usage de données et des codes produits par d'autres pourraient être source d'une nouvelle approche de la question de recherche, ou au moins engendrer une réduction des délais et des coûts de la recherche.

L'enjeu réside donc à transformer durablement les pratiques de recherche à travers une intégration de la science ouverte de manière cohérente tout au long du cycle de la recherche : de la question de recherche à la diffusion des résultats. Le renouvellement de la feuille de route des infrastructures représente l'opportunité d'apprécier, à l'échelle de chacune des infrastructures, des domaines scientifiques et de la globalité des infrastructures qui se placent en appui des recherches de plusieurs centaines de milliers de chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs et professionels de l'information scientifique français, le degré d'imprégnation de la science ouverte et des transformations de pratiques.

De surcroît, l'adoption de la science ouverte par les communautés est devenue un critère d'excellence scientifique dans les appels à projet de l'union européenne, alors qu'elle était jusque-là plutôt considérée comme un critère d'ordre technique. Les infrastructures de recherche doivent elles-mêmes être porteuses d'une stratégie et de pratiques de science ouverte exemplaires pour offrir à leurs utilisateurs des services qui s'inscrivent dans ce cadre d'excellence scientifique. Les infrastructures représentent un vecteur majeur de cette mise en œuvre concrète de la science ouverte et un levier massif de transformation des pratiques.

MÉTHODOLOGIE

L'analyse des dynamiques de science ouverte au sein des infrastructures s'est appuyée, dans le formulaire de candidature, sur une vingtaine de questions, qui traduisent cinq axes dont aucun n'est optionnel :

- **Stratégie de science ouverte :** il est nécessaire que chaque infrastructure se dote d'une politique claire, explicite et publique en ce qui concerne les différentes dimensions de la science ouverte, ainsi que le suggère la mesure du Plan national pour la science ouverte : « *Engager les acteurs de l'enseignement supérieur et de la recherche à se doter d'une politique de science ouverte* » ;
- **Politique d'ouverture des codes et logiciels :** le code produit par les infrastructures doit relever d'une stratégie de développement conforme aux bonnes pratiques du domaine et s'appuyant autant que possible sur des licences libres clairement affichées ;
- **Politique d'ouverture des publications :** la mesure n°1 du Plan national pour la science ouverte demande à chaque opérateur de « *Rendre*

obligatoire la publication en accès ouvert des articles et livres issus de recherches financées par appel à projets sur fonds publics». Les infrastructures ne peuvent pas faire exception à ce principe, que nous cherchons par conséquent à identifier comme élément de politique quand l'infrastructure s'y prête;

— **Maturité de la politique des données :** les données relèvent du patrimoine scientifique de l'État et ont trop souvent été considérées comme des consommables, alors que ce sont des piliers de la capacité d'administration de la preuve scientifique, et par ailleurs de potentiels instruments de nouvelles découvertes, par réutilisations et croisements initialement non prévus. La mesure n°4 du Plan national pour la science ouverte demande clairement de : «*Mettre en œuvre l'obligation de diffusion des données de recherche financées sur fonds publics*», ce qui n'est rien d'autre qu'une formulation de l'article 6 de la Loi pour une République numérique. Pour ces raisons, il est nécessaire de doter chaque infrastructure servant à produire, collecter ou traiter des données d'une politique de données inscrite dans la durée;

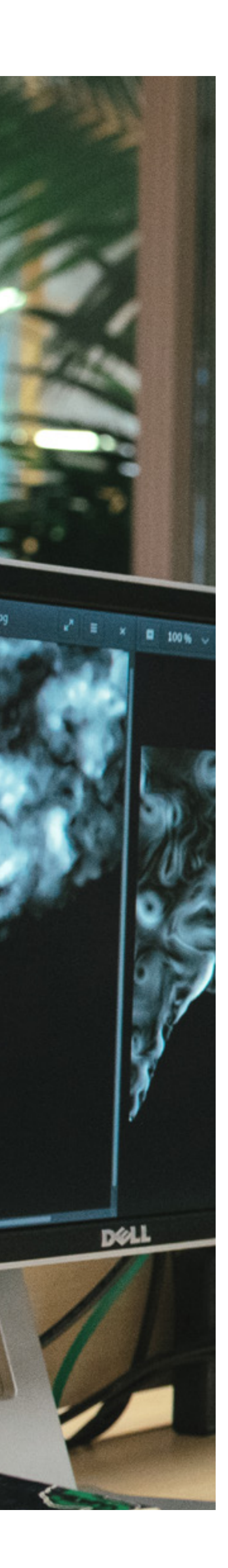
— **Acteurs de la gouvernance des données :** la complexité des enjeux de la donnée implique de disposer sur place de professionnels de la donnée, et notamment des personnes responsables de la gouvernance des données ainsi que de personnes en charge de leur «fairisation» : mise en conformité avec les principes FAIR visant à les rendre «Faciles à trouver, Accessibles, Interopérables et Réutilisables», ces principes se décomposant eux-mêmes en 16 items.

L'appréciation de l'imprégnation de la science ouverte concerne les infrastructures porteuses d'enjeux scientifiques ou de diffusion de productions et savoirs scientifiques. Les infrastructures dites de «Services numériques» pour lesquelles les questions de science ouverte étaient inopérantes ne font pas partie de cette analyse.

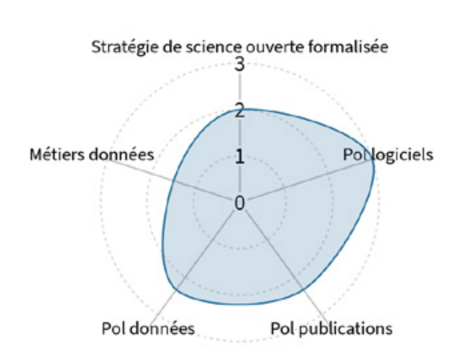
NIVEAUX D'IMPRÉGNATION DE LA SCIENCE OUVERTE DANS LES INFRASTRUCTURES

Si une stratégie explicite de science ouverte est quasi-absente dans l'ensemble des infrastructures, des politiques de science ouverte pour les publications, le code ou logiciel et les données sont émergentes dans certains domaines scientifiques ou plus généralisées pour d'autres. Les réponses des infrastructures font émerger des spécificités fortes dans la mise en œuvre concrète de la science ouverte. Ces spécificités sont propres à chaque domaine scientifique. Les modalités de production des données de la recherche, très différentes selon les domaines, sont un facteur de différenciation. Ces politiques ont pu se développer avant que le concept de science ouverte soit forgé, dans les communautés dont la production des données dépendait d'instruments d'observation ou de mesures coûteux pour lesquels l'accès aux chercheurs est compté. Les domaines de l'Astronomie et de la Physique Nucléaire et des Hautes Énergie ont ainsi été pionnières dans le domaine du partage des données produites à l'échelle de leurs communautés, certains chercheurs ne travaillant qu'à partir des données acquises ou traitées par d'autres.

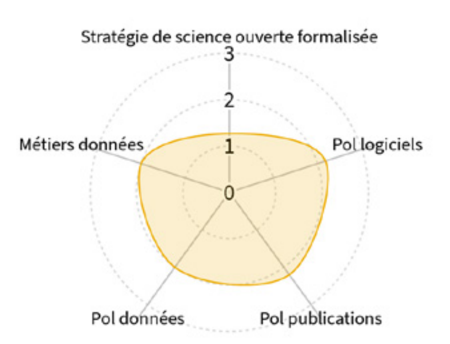
Quelle que soit la maturité des politiques de science ouverte, les réponses au questionnaire révèlent un gradient commun. L'histoire a en effet presque toujours commencé par l'ouverture des codes/logiciels, elle s'est généralement poursuivie par l'ouverture des publications et elle a enfin abordé la complexité du sujet des données. C'est la raison pour laquelle nous suivrons ce fil narratif.



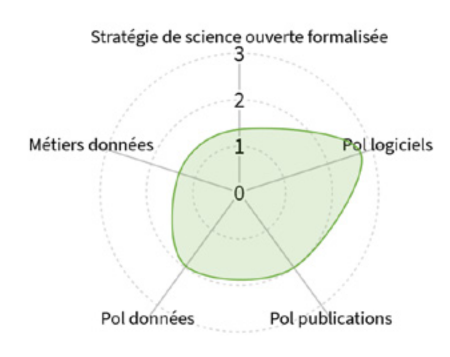
Information scientifique



Physique nucléaire et des hautes énergies



Sciences de la terre et de l'environnement



Astronomie

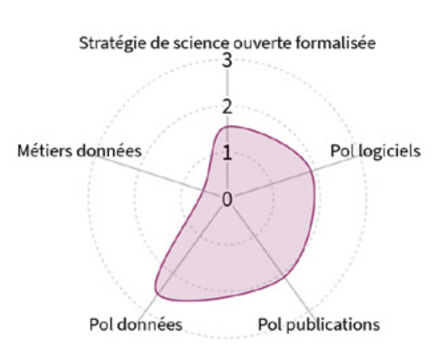


Figure 1. Représentation de l'imprégnation de la science ouverte dans les infrastructures des domaines de l'information Scientifique, la Physique Nucléaire et des Hautes Énergies, l'Astronomie et Systèmes Terre et Environnement.

Axes : Stratégie de science ouverte formalisée, Politique relative aux logiciels, Politique relative aux publications, Politique relative aux données, Métiers de la gouvernance des données
Signification de la valeur des axes : 0 : Absence de politiques, 1 : Politique émergente, 2 : Politique en cours de généralisation, 3 : Politique systématique

Des politiques de science ouverte selon les domaines scientifiques ou thématiques

Tous les domaines scientifiques sont engagés dans des démarches d'adoption de politiques de science ouverte, mais le paysage de cette adoption se décompose en trois groupes : des politiques en voie de systématisation, de généralisation ou d'émergence.

Des politiques en voie de systématisation : *Information Scientifique, Physique Nucléaire et des Hautes Énergies, Astronomie et Systèmes Terre Environnement*

Une première famille de 4 domaines thématiques se distingue par des politiques science ouverte plus avancées. Il s'agit de l'*information Scientifique, de la Physique Nucléaire et des Hautes Énergies, de l'Astronomie et de Systèmes Terre et Environnement*.

La stratégie de science ouverte est très avancée dans le domaine de l'Information Scientifique, qui regroupe des infrastructures comme HAL, Software Heritage ou OpenEdition, car le cœur de leur mission est la diffusion la plus universelle possible des savoirs. Elles ont des missions de diffusion, de structuration de l'information, de certification, de préservation. Mais elles sont également en charge de la mise en relation des informations scientifiques, notamment à travers une ossature d'identifiants et des liens d'interopérabilité. Dans toutes les autres domaines, la stratégie de science ouverte existe plutôt de façon tacite au travers de pratiques ou de politiques déjà en place, et n'est pas encore

Sciences humaines et sociales

Stratégie de science ouverte formalisée
3
2
1
0
Métiers données
Pol logiciels
Pol données
Pol publications

Biologie et santé

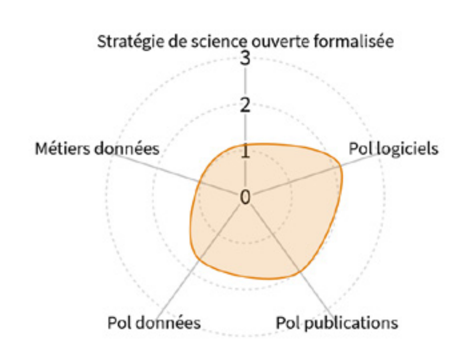


Figure 2. Représentation de l'imprégnation de la science ouverte dans les domaines des Sciences Humaines et Sociales et de la Biologie et de la Santé.

Axes : Stratégie de science ouverte formalisée, Politique relative aux logiciels, Politique relative aux publications, Politique relative aux données, Métiers de la gouvernance des données
Signification de la valeur des axes : 0 : Absence de politiques, 1 : Politique émergente, 2 : Politique en cours de généralisation, 3 : Politique systématique

formalisée et posée comme une condition d'utilisation de l'infrastructure.

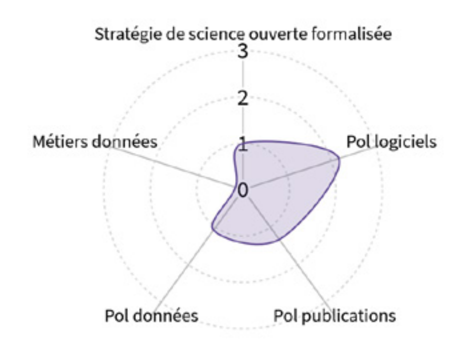
Pour les quatre domaines de cette famille d'infrastructures, le gradient de maturité des politiques que l'histoire explique (codes/logiciels, suivi des publications, et seulement enfin des données) se retrouve de façon plus au moins marquée. En particulier, les politiques de développement de logiciels dans les infrastructures ne sont pas toutes maximales. Les politiques de partage de données, inscrites de longue date dans les communautés de l'Astronomie et de la Physique Nucléaire et des Hautes Énergies, suivies par la communauté des Sciences de la Terre et de l'Environnement, sont clairement visibles dans les réponses des infrastructures. La spécialisation des métiers de la donnée, notamment au travers des fonctions de gouvernance et d'intendance de la donnée, est déjà bien installée dans les environnements nécessitant un partage accru de données de qualité et décrites pour être utilisables par des communautés hétérogènes, dépassant celle de leurs producteurs. Cette présence, qui semble moindre dans le domaine de l'Astronomie, trouve son explication dans la diversité des infrastructures du domaine – instruments d'observation qui ne conservent pas les données, ces dernières étant centralisées sur une seule des infrastructures, porteuse de ces métiers pour toute la communauté.

Des politiques en cours de généralisation : Sciences Humaines et Sociales et Biologie et Santé

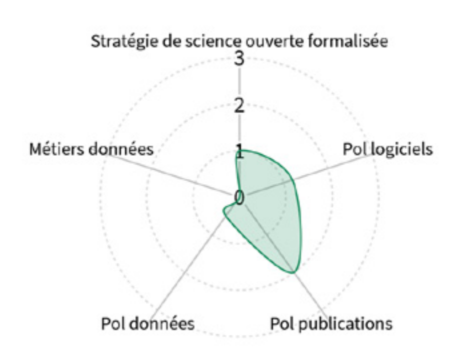
La deuxième famille regroupe les domaines des **Sciences Humaines et Sociales et de la Biologie et de la Santé**.

Si les politiques de science ouverte sont en cours de généralisation dans ces deux domaines, les métiers de la donnée y sont de toute évidence plus présents. Les données à caractère personnel, très présentes dans ces deux domaines, recourent à l'expertise des délégués à la protection des données des établissements porteurs des infrastructures, mais aussi à une mobilisation accrue de fonction de gouvernance de données à l'échelle de chaque infrastructure pour organiser et instruire les questions de partage en accès contrôlé de ces données qui ne peuvent être largement ouvertes. Les obligations et pratiques d'anonymisation de données personnelles font aussi partie des problématiques que ces deux groupes d'infrastructures pourraient partager ou mutualiser au travers d'approches communes. Il ne faut cependant pas oublier que ces deux ensembles disciplinaires mobilisent aussi des données non individuelles, qui sont moins complexes à partager.

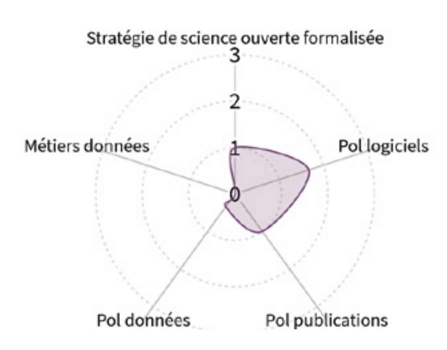
Infra-analytiques et matériaux



Energie



Sciences du numérique et mathématiques



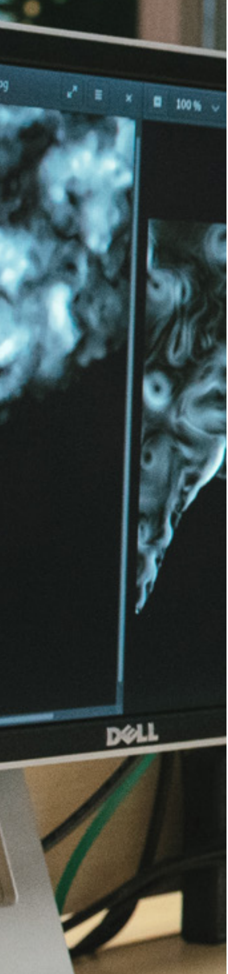


Figure 3. Représentation de l'imprégnation de la science ouverte dans les domaines des Infrastructures analytiques et matériaux, de l'Énergie ainsi que des Sciences du numérique et mathématiques

Axes : Stratégie de science ouverte formalisée, Politique relative aux logiciels, Politique relative aux publications, Politique relative aux données, Métiers de la gouvernance des données
Signification de la valeur des axes : 0 : Absence de politiques, 1 : Politique émergente, 2 : Politique en cours de généralisation, 3 : Politique systématique

Des politiques en émergence : Infrastructures analytiques et matériaux, Énergie et Sciences du numérique et mathématiques

Le domaine des infrastructures analytiques et des matériaux regroupe un ensemble d'infrastructures de service pour des projets de recherche dans le cadre de l'analyse de leurs échantillons ou d'offres de moyens de micro et nano fabrication (salles blanches). Ce positionnement en offre de service ne place pas ces infrastructures au cœur du processus de recherche de chacun des projets. De ce fait, les enjeux liés aux données ou aux procédés de fabrication sont portés directement par les projets, à l'extérieur des infrastructures. Cela contribue à expliquer des niveaux de politiques variables selon qu'il s'agit des logiciels, des publications ou des données. L'enjeu réside donc dans la définition de conditions d'accès aux infrastructures précisant les politiques en matière de gestion et d'ouverture des données et des publications.

Concernant le domaine de l'Énergie, la politique en matière d'ouverture des publications est en cours de généralisation, alors que celles en matière de codes et de données sont émergentes. Nombre d'infrastructures de ce domaine ont une activité dédiée à la R&D et sont donc marquées par les aspects de propriété intellectuelle et de secrets qui protègent les procédés et les innovations techniques. Ce domaine regroupe des infrastructures co-portées souvent par plusieurs EPIC en association avec des industriels de l'énergie. L'enjeu en terme d'ouverture des données et du code se situe donc prioritairement à l'échelle de chaque infrastructure autour

du développement de politiques de partage des données et du code entre les partenaires de l'infrastructure. Un certain nombre de verrous restent donc à lever pour porter les défis d'intégration de données, modèles et simulations à une échelle réunissant les infrastructures dédiées aux différentes énergies : solaire à concentration, solaire photovoltaïque, nucléaire, marine… et celles du domaine de l'environnement.

Les sciences du numérique constituent un cas à part. Les trois infrastructures de ce domaine portent sur des domaines d'applications très divers : la visualisation de données complexes, l'informatique distribuée des objets connectés et la robotique. L'enjeu pour ces infrastructures serait de pouvoir mobiliser des données produites par des infrastructures d'autres domaines pour apporter de nouvelles approches de traitement ou d'intégration des données. Le pas de progrès en matière de science ouverte réside aujourd'hui dans la généralisation des bonnes pratiques en matière d'ouverture des codes et logiciels au travers de l'usage des licences libres.

Des politiques de science ouverte en lien avec la cohérence du paysage d'infrastructures dans chacun des domaines scientifiques

La maturité des politiques observées dans ces trois familles paraît corrélée aux interconnexions qui existent entre les infrastructures au sein d'un domaine. Selon les domaines scientifiques, les infrastructures de recherche forment plus ou moins un paysage cohérent et systémique pour leur communauté. De ce point de vue, trois familles d'organisations émergent :

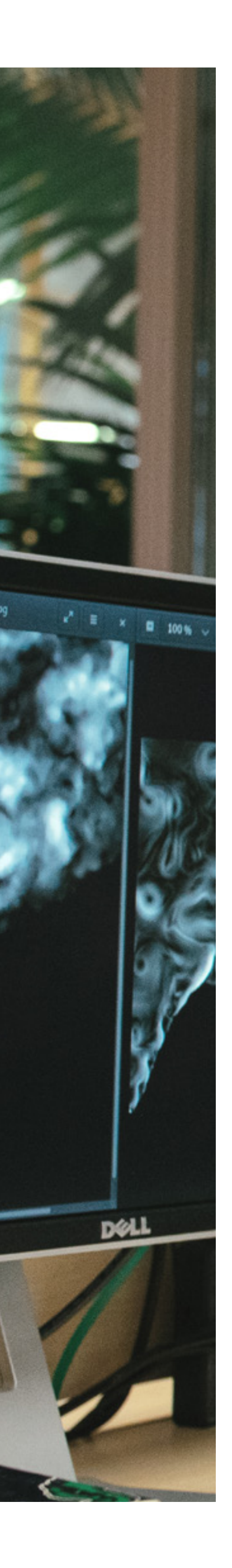
- un écosystème d'infrastructures complémentaires ;
- émergence d'écosystèmes d'infrastructures par sous-domaines ;
- des infrastructures dispersées.

Un écosystème d'infrastructures complémentaires

La famille d'infrastructures dont la politique de science ouverte est en voie de systématisation correspond à un paysage structuré d'infrastructures les unes par rapport aux autres au sein d'un domaine scientifique. En effet, les groupes scientifiques Physique Nucléaire et Hautes Énergies, Système Terre et Environnement et Astronomie-Astrophysique proposent un paysage d'infrastructures interconnectées les unes aux autres qui vient en appui à des recherches de communautés allant de 12 000 à 30 000 chercheurs, enseignants-chercheurs et ingénieurs. La mise en œuvre d'infrastructures de recherche de grande taille ou rares, construites et exploitées par des collaborations internationales durant plusieurs années voire décennies (Physique Nucléaire et Hautes Énergie, Astronomie et Astrophysique) ou la compréhension et la modélisation (Système Terre et de l'environnement), ont nécessité l'organisation d'un écosystème d'infrastructures complémentaires. Les instruments notamment de physique, d'astronomie, d'expérimentation ou d'observation et d'infrastructures de service se sont organisés pour accompagner le stockage, le traitement voire le partage des données produites.

Dans chacun de ces domaines thématiques, les infrastructures produisent de très gros volumes de données, ainsi que des données d'observation et/ou de suivi longitudinal qui ne peuvent être acquises qu'une seule fois. Ces spécificités ont conduit ces domaines à structurer, décrire, cataloguer et rendre accessibles les données à leur communauté.

Le domaine de l'Information Scientifique propose également un paysage cohérent et complémentaire d'infrastructures destinées à permettre la certification, la maximisation de l'impact, la mise en relation et la conservation des connaissances de l'humanité. Elles tiennent leur originalité



de leur positionnement à l'interface entre le monde scientifique producteur de connaissance et le même monde scientifique consommateur de connaissances, mais aussi à l'interface avec des publics non académiques, en particulier socio-économiques, politiques et culturels. Cette importance et cette diversité des publics a imposé la production d'un paysage à la fois visible et lisible, pour tous les publics. Ce domaine est transverse à tous les secteurs scientifiques et appuie ainsi toute la communauté de recherche française. Même lorsque ses « champions » sont nés dans un champ disciplinaire spécifique, la tendance est à l'extension disciplinaire.

La structuration des infrastructures en complémentarité les unes par rapport aux autres constitue un facteur très favorable au développement des politiques de science ouverte et doit être encouragée dans le contexte de systématisation des politiques à l'œuvre. Cette structuration a conduit les trois domaines scientifiques « Physique Nucléaire et Hautes Énergie », « Astronomie et Astrophysique » et « Système Terre et environnement » à développer les compétences de description, catalogage et exposition des données de recherche au sein d'une ou deux infrastructures, ce qui permet de garantir l'homogénéité des vocabulaires, catalogues de métadonnées, thésaurus… de description des données et facilite ainsi l'intégration de multiples jeux de données issus de différents instruments par des projets qui ne les ont pas produits. Ces trois domaines sont de fait les plus avancés dans la mise en conformité de leurs données avec les principes FAIR (« Facile à trouver, Accessible, Interopérable et Réutilisable), grâce au développement de compétences spécifiques. Le regroupement ou la mise en réseau des métiers de la donnée est ainsi un levier de transformation durable des politiques de partage et d'ouverture des données. Cette stratégie accroit par ailleurs la découvrabilité des jeux de données. Elle favorise également la création de grands jeux de données de référence, tout en réduisant les efforts de description minutieuse des données, des protocoles et des codes.

Émergence d'écosystèmes d'infrastructures par sous-domaines

Les groupes thématiques « Biologie-Santé » et « Sciences Humaines et Sociales » regroupent des infrastructures qui, par sous-ensembles thématiques, initient ou ont mis en place des convergences.

En Biologie-Santé, différentes natures de *clusters* d'infrastructures se forment autour de différents services comme la mise à disposition d'une infrastructure informatique dédiée aux Sciences de la Vie par l'Institut Français de Bioinformatique (IFB), ou la construction de grands jeux de données de référence pour les études et les recherches en santé dans le cadre de France Cohortes ou du Collecteur, Analyseur des Données génomiques (CAD) du plan France médecine génomique.

En Sciences Humaines et Sociales, HUMA-NUM porte une infrastructure informatique dédiée à toute la communauté de recherche en SHS qui est structurante à l'échelle de la communauté mais aussi des autres infrastructures de recherche du domaine comme Progedo.

Dans le cadre de ces deux domaines scientifiques, les infrastructures IFB et HUMA-NUM jouent un rôle structurant en apportant un service de support informatique à d'autres infrastructures de leur domaine.

Cette première étape de structuration par sous-domaines participe à l'émergence ou la généralisation de politiques de science ouverte sur les axes logiciels, données et publications sans pour autant engager la voie d'intégration de données en de grands jeux de référence à l'échelle d'une large communauté de biologie santé ou des SHS. La trajectoire à instruire serait d'évaluer la pertinence,

en biologie santé notamment d'une structuration dépassant des sous-domaines (ex : –omiques, cohortes…) qui permettrait d'apporter des services d'intégration et de croisements de données aux chercheurs.

Infrastructures dispersées par spécialisation
Les domaines scientifiques « Infrastructures d'analyse et matériaux » et « Énergie » regroupent des infrastructures ou instruments au service de projets de recherche très différents et ne forment pas un écosystème d'infrastructures pour toute une communauté. Cette dispersion conduit à des politiques de science ouverte en émergence.
Vu les contextes de ces deux domaines liés à la diversité des analyses pour le premier et à la logique consortiale de R&D pour le second, une trajectoire d'accélération pourrait résider dans le développement des métiers de la donnée et leur mise en réseau pour engager une réflexion commune sur les standards de description des données applicables à leurs domaines.

Concernant les « sciences du numérique », une voie de structuration de cette communauté de recherche en appui à des domaines d'application divers pourrait être la création d'un groupe international au sein de la RDA (Research Data Alliance) pour dessiner les recommandations et standards de ces domaines de l'informatique distribuée.

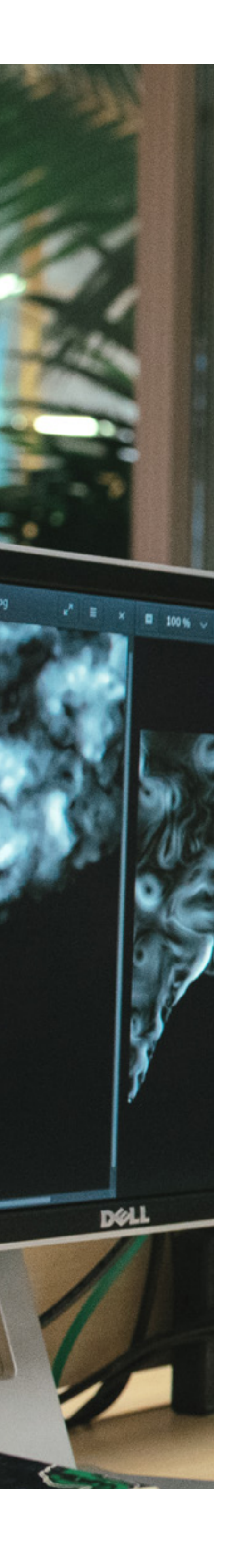
DES LEVIERS D'ACCÉLÉRATION

Même si de nombreux éléments culturels, structurels ou organisationnels induisent des maturités différentes dans la mise en place concrète de la science ouverte dans chaque domaine scientifique, trois leviers d'accélération semblent pouvoir bénéficier à toutes les infrastructures.

Formaliser les stratégies de science ouverte
Les pratiques de science ouverte sont à des stades d'avancement divers selon les domaines scientifiques mais presque toutes les infrastructures partagent le même manque de formalisation d'une stratégie de science ouverte. La formalisation de cette stratégie pour les plus avancées (notamment en affichant une politique FAIR déjà à l'œuvre dans la pratique) ou la conception, pour les autres, permettraient d'engager un dialogue avec les tutelles dans le cadre du renforcement des moyens en ingénierie des données, de construire des interfaces de dialogue entre infrastructures ou domaines d'infrastructures et d'engager durablement les utilisateurs des infrastructures dans la transformation de leurs pratiques.

Des interfaces de dialogue entre infrastructures s'initient entre des domaines comme environnement et biologie-santé au travers notamment de la description et de l'ouverture des données du phénotypage végétal (Phenome Emphasis – biologie-santé) sur l'infrastructure Data Terra (système Terre – environnement), ou à l'inverse le recours à l'infrastructure française de bioinformatique (IFB) (Biologie-santé) par l'infrastructure RARe (centres de ressources en agronomie du domaine environnement). La formalisation des stratégies de science ouverte permettrait à toutes les infrastructures ou domaines d'identifier des opportunités de dialogue ou de collaborations : liens énergie-environnement pour l'intégration de données au travers de l'alignement des vocabulaires de description, approches techniques communes sur l'anonymisation des données entre SHS et biologie-santé…

Doter les infrastructures d'un identifiant « funder registry »
Quel que soit le domaine, la contribution et l'impact des infrastructures sur la connaissance scientifique sont très largement sous-estimés, car le recours à leurs services par les projets de recherche est encore trop peu cité dans les différents résultats de la recherche : publications, logiciels ou données. Il est proposé de doter chaque infrastructure de recherche



d'un identifiant unique de type « funder registry » comme 4 des infrastructures (CERN, ESO, AEROSTATS, ECELL FR) l'ont initié. Cela permettra de généraliser une politique contraignante de citation de l'infrastructure par cet identifiant : dans les remerciements et métadonnées des publications ainsi que dans les métadonnées des jeux de données et du code produits grâce à l'infrastructure. Les infrastructures d'information scientifique ont par ailleurs vocation à permettre l'enregistrement de ce type d'information dans leurs métadonnées, comme le fait déjà OpenEdition. Le MESRI pourrait se charger de cette action. Cette mise en œuvre devra permettre un suivi facilité des productions issues de l'usage des infrastructures et mettra ainsi en avant leur contribution à la production de connaissances scientifiques. Tout comme certaines infrastructures l'ont déjà mis en œuvre, le respect de la citation par les utilisateurs serait aussi une condition contractuelle de sélection des projets candidats lors des appels à projets lancés par les infrastructures.

Réduire la tâche d'intégration des données par les équipes de recherche

Les dispositifs d'acquisition, traitement, description et diffusion des données ont souvent été mis en place par type d'instruments et par domaines d'application. La donnée scientifique, tout comme son traitement et sa description, sont intimement liés à la question de recherche et au domaine scientifique et ne peuvent être pris en charge au travers d'une approche transverse à tous les domaines ou toutes les infrastructures. Cependant, au sein d'un même domaine, certaines approches sectorielles rendent difficiles les études pluridisciplinaires comme notamment en environnement, les approches écosystémiques intégrées, les interactions océan/atmosphère, ou atmosphère/surfaces continentales… Aux frontières entre deux domaines, la réduction de l'impact de la production d'énergie sur l'environnement (qualité de l'air, GES, production de déchets) en rapprochant les travaux de R&D des infrastructures de l'énergie et les questions de recherche abordées par les infrastructures du domaine de l'environnement, pourrait également être citée en exemple, de même que l'intérêt de l'infrastructure RARe (centres de ressources en agronomie du domaine environnement) pour les ressources génétiques d'intérêt en biologie-santé.

Les interfaces d'accès aux données proposées aux utilisateurs sont en effet nombreuses mais en règle générale, peu homogènes et utilisant des vocabulaires et des catalogues de métadonnées différents. Comme le souligne le *Livre Blanc sur les infrastructures françaises de recherche du domaine des sciences du système Terre et de l'environnement*[1], la tâche d'intégration des données revient à l'équipe scientifique utilisatrice, ce qui provoque une difficulté d'usage importante. La segmentation des systèmes et l'approche sectorielle sont un frein dans la rationalisation des métiers de la donnée et pour l'alignement des jeux de données et leur interopérabilité. Pour les domaines scientifiques ayant engagé des démarches de spécialisation de certaines infrastructures, une meilleure maturité de la politique des données ainsi que le développement de métiers spécialisés dans la donnée révèlent un plus fort potentiel d'usage des données et des économies en terme d'effort pour leur retraitement ou leur description.

1 *Livre Blanc sur les infrastructures françaises de recherche du domaine des sciences du système Terre et de l'environnement* – Vision stratégique d'AllEnvi 2020-2030, novembre 2019.

Les groupes thématiques de cette feuille de route appellent à la généralisation de cette stratégie de renforcement et de structuration des métiers de la donnée par domaine scientifique. Celle-ci permettrait de soutenir la standardisation des vocabulaires au bénéfice des intégrations de données à plus grande échelle, facilitant ainsi la création de grands jeux de référence de données par domaine ou le dialogue entre domaines scientifiques.

Remerciements

Ont été très impliqués dans la production de ce document :

- le service de la stratégie de la recherche et de l'innovation de la DGRI ;
- le département des grandes infrastructures de recherche de la DGRI ;
- le service d'information et des études statistiques du MESRI.

Index des infrastructures

Crédits photos

Couverture : 1re de couverture : gauche haut : © CERN – gauche bas : © Cyril Frésillon/CC IN2P3/CNRS – droite : © ESO **– 4e de couverture :** gauche : © FT, UMR LEPSE, INRAE Montpellier – droite haut : © ESRF/S. Candé, 2021 – droite bas : © Résif-Epos

Avant-propos : © MESRI – **Introduction :** © MESRI **– p. 18 :** © ESO/B. Tafreshi (twanight.org) **– p. 44 :** © CEA/I2BM/Neurospin **– p. 88 :** © Cyril Frésillon/CNRS **– p. 102 :** © European XFEL/Jan Hosan **– p. 128 :** © CNRS/Emmanuel LAROZE **– p. 138 :** © CERN **– p. 168 :** © Cyril Frésillon/CNRS Photothèque **– p. 184 :** © Lesbats Stephane (2022). Navire océanographique L'Atalante. Ifremer **– p. 218 :** © Cyril Frésillon/CC IN2P3/CNRS **– p. 260 :** © Inria/Photo M. Magnin.

Deuxième édition
Date de publication : mars 2022
Conception et réalisation graphique : Opixido



Liberté
Égalité
Fraternité